

# Konstruktion

Organ der VDI-Gesellschaften Produkt- und Prozessgestaltung (VDI-GPP) und Materials Engineering (VDI-GME)

**Sonderteil  
Fluidtechnik**



**RODRIGUEZ**  
Precision in Motion™

## TITELTHEMA: ANTRIEBSTECHNIK

### PLUG- & -PLAY-LÖSUNG

Thermische Dämmung  
bei E-Autos  
erhöht die Reichweite

### DC-LÖSUNGEN

Leitungen für Gleichstromnetze  
beim Einsatz  
von Industrierobotern

### KUNSTSTOFFE

Weltweit erste  
Pilotanlage für biobasiertes  
Anilin eröffnet

© **Konstruktion**

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich  
für die interne Verwendung bestimmt.  
Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.



**INGENIEUR.de**  
TECHNIK - KARRIERE - NEWS

Das TechnikKarriereNews-Portal für Ingenieur\*innen.

# Testen Sie Ihr Gehalt.

Mit dem Gehaltstest für Ingenieurinnen und Ingenieure überprüfen Sie schnell, ob Ihr Einkommen den marktüblichen Konditionen entspricht. Er zeigt Trends auf und gibt Ihnen Orientierung, z. B. für Ihr nächstes Gehaltsgespräch.

Und Ihre individuelle Auswertung können Sie jederzeit bequem aktualisieren.

**JETZT KOSTENFREI TESTEN UNTER:  
[WWW.INGENIEUR.DE/GEHALT](http://WWW.INGENIEUR.DE/GEHALT)**

# Die Bedeutung des ehrenamtlichen Engagements ist nicht zu unterschätzen

**W**ie bin ich zum Ehrenamt im VDI gekommen und wie sehe ich dessen Bedeutung heute? Als Kind griff ich gelegentlich zu den VDI-Nachrichten, die mein Vater bekam. Heute kann ich nicht mehr nachvollziehen, was ich darin suchte. Vielleicht aber auch deshalb habe ich später an der RWTH Aachen Maschinenbau studiert und bin früh Mitglied im VDI geworden. Der Apfel fällt nicht weit vom Stamm.

Im Fach Konstruktionstechnik habe ich bei Prof. Koller die Konstruktionsmethodik für mich entdecken können. Zu dieser Zeit erschien die entsprechende Richtlinie VDI 2221. Während der Promotion erweiterte ich meinen Horizont im VDI-Arbeitskreis Betriebswirtschaft und Management von Peter Pergl in Hamburg, der es verstand, uns mitzureißen. Während meiner Industrietätigkeit brachte ich mich in Verbände und Arbeitskreise ein. Das Bündeln von gemeinsamen Interessen in vitale Netzwerke ist immer auch eine Investition in die Zukunft. Als ich 2004 auf die Professur für Maschinenelemente und Rechnergestützte Produktentwicklung an der Helmut-Schmidt-Universität in Hamburg berufen wurde, entdeckte ich die Bedeutung des Wissenstransfers. Als eine Folge wurde ich im VDI wieder aktiv. Die Begeisterung für die Konstruktionsmethodik war wohl ein Grund dafür, dass ich zum Vorsitzenden des Fachbeirats Produktentwicklung und Mechatronik im VDI (heute Produktentwicklung und Projektmanagement) gewählt wurde und auch dem Fachausschuss zur Überarbeitung der VDI 2221 vorsah, der Richtlinie, die mich sehr prägte. Mit der Wahl zum Vorsitzenden der VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (GPP) verbinde ich eine große Verantwortung, aber auch den Raum zum Gestalten.

Das Erstellen und Pflegen von technischen Richtlinien ist immer noch eine wichtige Aufgabe des VDI, wie es eine durch den Fachbeirat initiierte Befragung der VDI-Mitglieder bestätigte. Das Motto „Von Ingenieuren für Ingenieure“ ist das Selbstverständnis meiner Arbeit im VDI und geht einher mit der Idee seiner Gründer im Jahr 1856, „alle geistigen Kräfte der Technik zum gemeinsamen Wirken“ bündeln zu wollen. Heute engagieren sich mehr als zehntausend Personen ehrenamtlich im Verein. Die Bereitschaft zum Mitwirken und Mitgestalten ist ungebrochen groß. Hochschulen und Industrie

„Nutzen wir das Vertrauen, das die Gesellschaft in uns setzt.“

bilden den Stand der Technik und den Bedarf ab. Dadurch entsteht ein vitaler Wissenstransfer. Also alles gut?

Nicht ganz, wenn wir auf die zukünftigen Entwicklungen schauen. Aufgrund der zunehmenden Belastung in der Wirtschaft tun sich Unternehmen schwer, ihre Ingenieurinnen und Ingenieure in die Gremien zu entsenden. Der Fachkräftemangel wächst nicht nur durch die 68er, die in den verdienten Ruhestand gehen. Der demografische Wandel in Verbindung mit dem nachlassenden Interesse von Jugendlichen, sich für eine Ingenieurausbildung zu entscheiden, verringert das Potenzial auf dramatische Weise. Die aktuelle PISA-Studie lässt vorahnen, worauf wir uns an den Hochschulen einstellen müssen. Zudem hadert die Gesellschaft hierzulande mit dem technischen und wirtschaftlichen Fortschritt, wie jüngste Beispiele selbst in Bayern und dem „Ländle“ belegen. Das Land der Inge-

neurinnen und Ingenieure scheint bereits im Abstieg zu stecken, folgt man diesen Unkenrufen.

Diesen Entwicklungen müssen wir entgegenwirken. Dazu können wir durch Engagement in der Sache und durch Vorbildsein in unseren vielfältigen Tätigkeiten im Ehrenamt beitragen. Mit dem VDI-Club führen wir Kinder bereits ab dem 4. Lebensjahr an die Naturwissenschaften und Technik heran. Neben den Baukästen ist es vor allem die entgegengebrachte Begeisterung, die wir als Vorbilder dort einbringen können, wie Prof. Bursac sehr treffend im Editorial 11/12 2023 der Konstruktion ausführte. Das setzt sich in den zahlreichen MINT-Initiativen an Schulen fort, um bei der Berufs- oder Studienwahl keine Talente zu verlieren. Während des Studiums und in den ersten Berufsjahren organisieren sich die Young-Engineers im VDI und übernehmen bereits früh Verantwortung. Das ist wichtig und verdient die Unterstützung von den Älteren. Ich bin überzeugt, dass wir dadurch auch in Zukunft die Expertise in die Fachbeiräte und -ausschüsse bringen, um die Rahmenbedingungen zu schaffen, aus denen die besten Lösungen für die Welt von heute und morgen entstehen können. Insbesondere mit Blick auf den Klimawandel ist die gesellschaftliche Erwartung in uns Ingenieurinnen und Ingenieure hoch, dieses „Problem“ zu lösen. Nutzen wir dieses Vertrauen. ■



Prof. Dr.-Ing. **Frank Mantwill** ist Leiter der Professur für Maschinenelemente und Produktentwicklung an der HSU, Hamburg. Er seit Jahresbeginn Vorsitzender des VDI-GPP-Beirats.  
frank.mantwill@hsu-hh.de  
Foto: Mantwill



22

**Gleichstromnetze** — Im Rahmen eines Pilotprojekt wurde eine Testanlage im Karosseriebau eines bayerischen Automobilherstellers mit DC-Lösungen ausgestattet. Foto: Lapp



IW6

**Beschichtung** — Mit der PlasmaPlus-Technologie lassen sich durch das Aufbringen von Nanobeschichtungen zusätzlich gezielt funktionalisierte Oberflächen mit definierten Eigenschaften erzeugen. Foto: Plasmatreat

**Editorial**

**3** FRANK MANTWILL Die Bedeutung des ehrenamtlichen Engagements ist nicht zu unterschätzen

**Aktuelles**

- 6** Universal Robots baut Vertriebsnetz aus
- 6** Elektro- und Digitalindustrie vor leichter Wachstumsdelle
- 7** Robotik-Highlights auf der Hannover-Messe
- 7** AMF stellt Weichen für die Zukunft
- 8** ACE: Wettbewerb für Nachwuchskonstrukteure
- 9** Beschäftigung im Maschinen- und Anlagenbau: Kurzarbeit nimmt zu
- 10** VDI-GPP: Führung in der Welt AGILiens
- 12** VDI-GPP: Nachrichten aus der VDI-Fachgesellschaft VDI-GPP

**Antriebstechnik**

- 14** TITEL Präzisionsgleitlager für widrige Umgebungen
- 17** DIREKTANTRIEB Kompakter Antrieb für FTS

**18** FÖRDERTECHNIK Fünf Auswahlkriterien für Kugelrollen

**21** NEUE HARD- UND SOFTWARE Erweitertes Servoantriebssystem

**Automatisierung**

- 22** LEITUNGEN DC-Lösungen machen Automobilbau effizienter
- 26** AUTOMATISCH ETIKETTIEREN Flächengreifer optimieren Kommissionierung

**Fluidtechnik**

- 28** DOSIER-MISCHANLAGE Verarbeitungsstation für Kunstharze
- 30** ENERGIEEFFIZIENZ Energie bei Pressen zurückgewinnen

**Produktentwicklung**

- 49** FKV Entwicklung und Konstruktion einer Wickelmaschine als Open Source Hardware
- 52** DOWNSIZING Präzisionswiderstand überwacht Stromprofil in elektrischer Parkbremse
- 54** E-MOBILITÄT Thermische Dämmung im Automobilbau

**Fachteil Ingenieur-Werkstoffe**

- IW2** Hoch temperaturbeständige Kunststoffe für Elektroautos
- IW4** Weltweit erste Pilotanlage für biobasiertes Anilin eröffnet
- IW6** Plasma für die Reinigung und Beschichtung von Metalloberflächen
- IW8** Extrem robuste und ultrasensible Quanten-Bauelemente
- IW10** Metamaterialtechnologie macht Autos leichter und leiser
- IW12** Eiskalte Trennung von geklebten Stahlverbindungen
- IW14** Nicht brennbarer und jetzt auch gering wärmeleitfähiger Montageschaum
- IW16** Lehm wird zum Werkstoff für Lärmschutzwände

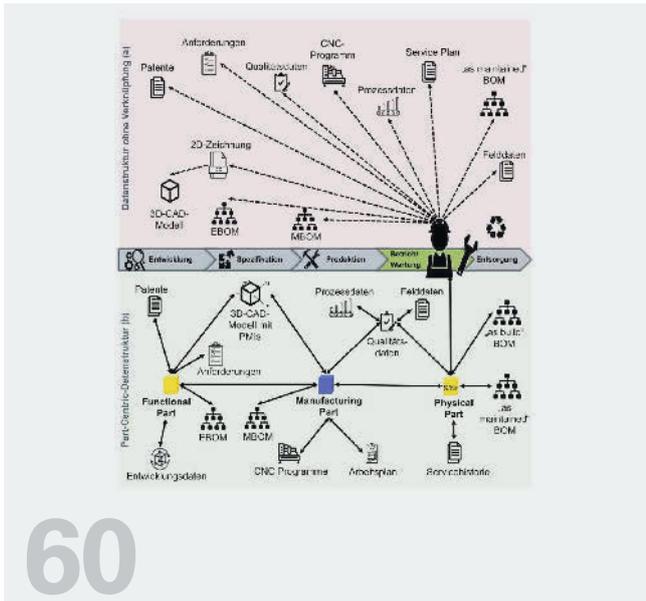
**WiGeP**

**58** ROBOTIK Entwicklung nachhaltiger Produkte am Beispiel autonomer urbaner Serviceroboter

Alle Newsletter kostenfrei



**Immer auf dem neuesten Stand:  
Mit VDI Fachmedien-Newsletter**



60

**Produktentwicklung** — Beim Service langlebiger Investitionsgütern hängt die Qualität von der Nutzung der angefallenen Daten ab. Das „Part-Centric“-Datenkonzept unterstützt die effiziente Datennutzung. *Grafik: Verfasser*

## Forschung, Wissenschaft, Innovation

**60** PRODUKTENTWICKLUNG  
J. Leidich, S. Neubert, P. Kunz, P. Robl  
„Part-Centric“-Datenkonzept zur beschleunigten  
Produktdatenrecherche \*  
(DOI 10.37544/0720-5953-2024-03-60)

Die mit \* gekennzeichneten Beiträge sind von den Herausgebern und externen Experten (i. Allg. Professoren der entsprechenden Fachrichtung) begutachtete (peer reviewed) Fachaufsätze von Autoren aus Industrie und Wissenschaft.

**67** Forschung und Technik aktuell

## Rubriken

- 8** Impressum
- 62** Vorschau
- 57, 66** Neue Produkte



**Präzisionsgleitlager**  
In den Präzisionsgleitlager von Rodriguez sorgt eine Beschichtung für eine fortlaufende Selbstschmierung über die gesamte Lebensdauer. In der obersten Gleitschicht ist ein Verbundmaterial enthalten, welches sich in einem mikroskopischen Film auf der Gegenfläche abgelagert und sich den Vertiefungen in der Oberfläche anpasst.

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

Sie wollen als Ingenieur oder Ingenieurin immer auf dem neuesten Stand sein, wenn es um zukunftsweisende und praxisnahe Fachinformationen geht. Oder wenn Sie für Ihre berufliche Tätigkeit Expert\*innenwissen aus Wissenschaft und Forschung, aus Wirtschaft und Produktion benötigen. Dann nutzen Sie jetzt die kostenfreien VDI Fachmedien-Newsletter mit ihren brandaktuellen Online-Beiträgen der Zeitschriften:

- Bauingenieur,**
- Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft,**
- HLH, Konstruktion, Technische Sicherheit,**
- VDI energie+ umwelt, VDI-Z,**
- wt Werkstattstechnik online.**



**Jetzt auswählen und bestellen!**

**Technikwissen für Ingenieur\*innen**  
[ingenieur.de/news](http://ingenieur.de/news)

## Universal Robots baut Vertriebsnetz aus

Universal Robots (UR) erweitert sein Vertriebsnetz in Bayern und Hessen mit drei neuen Partnern. Die bayerischen Unternehmen STL Steuerungs-Technik-Leuthe (STL) aus Bobingen bei Augsburg, RIBE Automation aus Schwabach bei Nürnberg sowie Alpaka Innovation mit Sitz in Petersberg/Böckels bei Fulda haben laut UR das Siegel des Certified System Integrators von UR erhalten. Ab sofort beraten sie ihre Kunden zu dem gesamten Produktportfolio des dänischen Herstellers. „Zunehmend mehr Unternehmen setzen Cobots ein, um Herausforderungen, wie den Arbeitskräftemangel, zu meistern. Hier sehen wir es als unsere Aufgabe, die Betriebe bestmöglich zu unterstützen und flexible Lösungen zu entwickeln. Mit unseren neuen Partnern in Bayern und Hessen stärken wir die einzelnen Regionen mit kompetenten Integrationspartnern, die genau auf die Bedürfnisse unserer Anwender eingehen können“, erklärt Andrea Alboni, General Manager Western Europe bei UR. „Unser Ziel ist es, Automatisierung für alle realisierbar zu machen und den Unternehmen dabei den Einstieg so einfach wie möglich zu gestalten. Dafür ist es essentiell, unseren Kunden Vertriebspartner und Systemintegratoren in ihrer Nähe als erfahrende Ansprechpartner anzubieten.“

[www.universal-robots.com/de/](http://www.universal-robots.com/de/)



**Andrea Alboni**, Universal Robots: „Mit unseren neuen Partnern in Bayern und Hessen stärken wir die einzelnen Regionen mit kompetenten Integrationspartnern, die genau auf die Bedürfnisse unserer Anwender eingehen können.“ Foto: UR



ZVEI: Zurückhaltende Prognose für 2024, aufgrund des aktuell schwierigen konjunkturellen Umfelds. Grafik: ZVEI

## ELEKTRO- UND DIGITALINDUSTRIE VOR LEICHTER WACHSTUMSDELLE

„2023 ist für die deutsche Elektro- und Digitalindustrie insgesamt recht ordentlich gewesen“, hat ZVEI-Präsident Dr. Gunther Kegel das vergangene Jahr im Rahmen der ZVEI-Jahresauftaktpressekonferenz bilanziert. „Zum dritten Mal in Folge konnte die reale, preisbereinigte Produktion gesteigert werden – auf Basis der Zahlen bis einschließlich November um 1,4%.“ Damit habe sich die Branche in einem schwierigen Umfeld als robust erwiesen. „Zur Wahrheit gehört aber auch, dass die Unternehmen noch historisch hohe Auftragsbestände abarbeiten konnten, als die Neubestellungen spätestens ab dem zweiten Quartal bereits zurückgingen.“ Die nominalen Erlöse der Branche erreichten im vergangenen Jahr mit 242 Mrd. Euro erneut eine Rekordmarke (+8%). Abermals hat sich die in ihrer Zusammensetzung heterogene Branche uneinheitlich entwickelt. Den stärksten Produktionszuwachs verzeichneten Batterien (+7%), gefolgt von elektronischen Bauelementen (+6%), Energietechnik (+4%) und Automation (+3%). Gebrauchsgüter dagegen verzeichneten einen deutlichen Rückgang (–13%). Die Elektro- und Digitalindustrie ist so global aufgestellt wie kaum eine andere Branche. Auch 2023 konnten die Ausfuhren (einschließlich der Re-Exporte) nochmals gesteigert werden, und zwar um 4% auf 256 Mrd. Euro. Mehr als die Hälfte – 133 Mrd. Euro – verblieb in der Europäischen Union. „Angesichts wachsender geopolitischer Spannungen wird der europäische Binnenmarkt immer wichtiger“, erklärte der ZVEI-Präsident. „Will die EU zwischen den USA und China weiterhin eine eigenständige Rolle einnehmen, muss sie den Binnenmarkt konsequenter auf Wachstum ausrichten und von industriefremder Regulierung wie dem EU-Lieferkettengesetz ablassen.“ Die nächste EU-Kommission müsse den Regulierungstsunami und eine in Teilen nahezu entfesselte Bürokratie stoppen, die die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen schwäche. „Wir brauchen jetzt eine Europäische Union, die industrielle Wertschöpfung in den Fokus stellt“, fordert Kegel. Einem „Dexit“ erteilte der ZVEI-Präsident eine klare Absage: „Wer meint, dass Deutschland auf sich allein gestellt besser fahren könnte, offenbart gefährliche wirtschaftspolitische Ahnungslosigkeit.“ Angesichts des aktuell schwierigen konjunkturellen Umfelds mit Inflation, vergleichsweise noch hohen Zinsen und hohen Energiepreisen zeigte sich der ZVEI für 2024 zurückhaltend. Kegel: „Die Branche steht vor einer Wachstumsdelle. Auf Jahressicht erwarten wir, dass die reale Produktion um 2% nachgeben wird.“ Auch die Aufwendungen der Elektro- und Digitalindustrie für Forschung und Entwicklung (22,1 Mrd. Euro) und Investitionen (9 Mrd. Euro) sind auf Rekordniveau und oberhalb des Vor-Corona-Niveaus. Viele von den jährlich angemeldeten mehr als 13.000 Patenten zahlen auf die drei Megatrends ein. „Unsere Branche ist bei Patenten für grüne Technologien gut aufgestellt, sieht sich aber immer stärkerer Konkurrenz aus China ausgesetzt“, sagte Wolfgang Weber, Vorsitzender der ZVEI-Geschäftsführung. „Industriepolitisch genießt ‚Green Tech‘ in China höchste Wertschätzung und wird vom Staat stark gefördert.“ [www.zvei.org](http://www.zvei.org)



Die Hannover Messe und der Deutsche Robotik Verband haben eine Kooperation vereinbart (im Bild: 3-axis delta robot, Beckhoff, Hannover Messe 2023). Foto: Deutsche Messe AG/Marcus Prell

## Robotik-Highlights auf der Hannover Messe

Robotik ist integraler Bestandteil der Hannover Messe. Wie die Deutsche Messe, Veranstalter der Messe, mitteilt, finden sich auf dem gesamten Ausstellungsgelände der Industriemesse Roboter in allen Größen und Formen, vom Industrieroboter über den Cobot bis hin zum autonomen mobilen Roboter. Ein besonderes Highlight ist, wie es weiter heißt, in diesem Jahr der Application Park in Halle 5, der mit dem Deutschen Robotik Verband (DRV) einen starken Partner an seiner Seite hat. Der DRV hat es sich unter anderem zur Aufgabe gemacht, den Einsatz von Robotik in Deutschland zu fördern. Angesichts des Fachkräftemangels gebe es durchaus Potenzial. Im weltweiten Vergleich liegt Deutschland nach China, Japan, Korea und den USA auf Rang 5.

„Mit den Robotikexperten vom DRV haben wir Partner an unserer Seite, mit denen wir das Thema Robotik auf der Hannover Messe im Zusammenspiel mit der Automatisierung weiter ausbauen werden. Es gibt weltweit keinen besseren Ort, um die unterschiedlichen Anwendungsbeispiele der Robotik sichtbar zu machen“, sagt Hubertus von Monschaw, Global Director Hannover Messe bei der Deutschen Messe AG.

Im Application Park präsentieren insbesondere junge Robotik-Unternehmen und Startups die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Robotern sowie das Zusammenspiel zwischen Mensch, Maschine und künstlicher Intelligenz. Besucher:innen bieten sich die Möglichkeit, robotikgestützte Automatisierung hautnah zu erleben und selber auszuprobieren. Ein Highlight seien die fahrerlosen Transportsysteme, die eindrucksvoll zeigen, dass künftig in vielen Bereichen auf Fahrer:innen verzichtet werden könne.

„Diese Ausstellungsplattform bietet den Besuchern der Messe eine einmalige Gelegenheit, sich mit neuen Technologien auseinanderzusetzen und zu erfahren, wie die enormen Herausforderungen der Industrie durch Robotik, KI und Automatisierung teilweise zu lösen sind“, sagt Helmut Schmid, Vorstandsvorsitzender des DRV. Zu den Top-Themen der Messe zählen den Angaben zufolge Industrie 4.0/Manufacturing-X, Energie für die Industrie, Digitalisierung/Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen, CO<sub>2</sub>-neutrale Produktion sowie Wasserstoff und Brennstoffzellen. Konferenzen und Foren ergänzen das Programm. Die Messe findet vom 22. bis zum 26. April 2024 in Hannover statt.

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

## AMF stellt Weichen auf Zukunft

Die Andreas Maier GmbH & Co. KG (AMF) hat 2023 einen Umsatz von 51 Mio. Euro erzielt, was weiteres Wachstum und einen Bestwert in der Unternehmensgeschichte bedeutet. Rund 45 % des Umsatzes wurde 2023 außerhalb Deutschlands erzielt. Neben Europa seien weiterhin Asien und Amerika wichtig. Ein schwächelnder Umsatz in China wurde von einem starken Wachstum in Indien aufgefangen. Die USA stagnierte auf hohem Niveau, Südamerika zeigte eine gestiegene Nachfrage.

Das Ergebnis bleibt laut AMF hinter den Erwartungen zurück, denn es werde von Inflation und Kostenerhöhungen weitgehend aufgezehrt.

Dennoch seien die Fellbacher hoffnungsfroh für das Jahr 2024. Mit neuen Produkten und modernen Arbeitsmodellen antizipiere AMF die Veränderungen der Arbeitswelt. Vor allem das jüngst vorgestellte Beladesystem Smart Automation stimme zuversichtlich, weil es dem Fachkräftemangel entgegenwirke. Im eigenen Haus sorgen zeitgemäße Arbeitsmodelle dafür, dass AMF für Mitarbeitende attraktiv bleibe. Ferner sollen weitere Digitalisierungsanstrengungen und die globale Präsenz 2024 für Wachstum sorgen. [www.amf.de](http://www.amf.de)

## IMPRESSUM

### Konstruktion

ISSN 0720-5953, 76. Jahrgang 2024

### Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen,  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
(Sprecher der Herausgeber)  
Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack, Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg  
Prof. Dr.-Ing. Detmar Zimmer, Universität Paderborn

### Organschaft

VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (VDI-GPP)

### Beirat

Prof. Dr.-Ing. Michael Abramovici  
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier  
Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause  
Dr.-Ing. Marc Pauwels (Vorsitzender VDI-GPP)

Prof. Dr.-Ing. Bernd Sauer  
Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath  
Dipl.-Ing. Dirk Spindler  
Prof. Dr.-Ing. Karsten Stahl  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ralph Stelzer  
Dr.-Ing. Reiner Vonderschmidt  
Prof. Dr.-Ing. Christian Weber

### Redaktion

Dipl.-Phys.-Ing. Udo Schnell  
Redaktionsleitung VDI Fachmedien  
Telefon: +49 211 6103-104  
[uschnell@vdi-fachmedien.de](mailto:uschnell@vdi-fachmedien.de)  
[konstruktion@vdi-fachmedien.de](mailto:konstruktion@vdi-fachmedien.de)

### Redaktion VDI-GPP

VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung  
Dr.-Ing. Daniela Hein  
Postfach 10 11 39, 40002 Düsseldorf  
Telefon: +49 211 6214-218  
Fax: +49 211 621497-218  
[gpp@vdi.de](mailto:gpp@vdi.de)

### Redaktion Fachteil Ingenieur-Werkstoffe

Organ der VDI-Gesellschaft Materials Engineering (VDI-GME)  
Rolf Müller-Wondorf  
Telefon: +49 211 6103-187  
[rmueller-wondorf@vdi-fachmedien.de](mailto:rmueller-wondorf@vdi-fachmedien.de)  
[konstruktion@vdi-fachmedien.de](mailto:konstruktion@vdi-fachmedien.de)

### Redaktionsbeirat

Dr.-Ing. Toni Leyendecker  
Prof. Dr.-Ing. Walter Michaeli  
Dr.-Ing. Heinz Neubert  
Prof. Dr.-Ing. Michael Pohl  
Dr. h.c. Jürgen Rabe  
Dr.-Ing. Hans-Jürgen Schäfer  
Prof. Dr.-Ing. Heinz Voggenreiter

Autorenhinweise/Veröffentlichungsgrundlagen: [www.konstruktion-online.de](http://www.konstruktion-online.de)

### Verlag

VDI Fachmedien GmbH & Co. KG  
Unternehmen für Fachinformationen  
VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf  
Postfach 10 10 22, 40001 Düsseldorf  
Commerzbank AG  
Swift/BIC-Code: DRES DE FF 300  
IBAN: DE69 3008 0000 0212 1724 00

### Geschäftsführung

Ken Fouhy, B.Eng.

### Layout

Laura B. Gründel

### Leitung Sales Solutions

Petra Seelmann-Maedchen  
Telefon +49 211 6188-191  
[pmaedchen@vdi-nachrichten.com](mailto:pmaedchen@vdi-nachrichten.com)

### Anzeigenverkauf

Verlagsbüro Günter Forster  
Sauerbruchstr. 54b, 81377 München  
Telefon: +49 89 8404-145  
Fax: +49 89 8401-688  
Mobil: +49 173 3840222  
[GuentForster@t-online.de](mailto:GuentForster@t-online.de)

Es gilt der Anzeigentarif Nr. 57 vom 1. Januar 2024.

### Vertrieb und Leserservice:

Leserservice VDI Fachmedien  
65341 Eltville  
Telefon: +49 6123 9238-202  
Fax: +49 6123 9238-244  
[vdi-fachmedien@vuservice.de](mailto:vdi-fachmedien@vuservice.de)

### Bezugspreise

9 Ausgaben jährlich  
(davon 1/2, 7/8 und 11/12 als Doppelausgaben)  
Jahresabonnement: € 576,40 (E-Paper 495,10)  
VDI-Mitglieder: € 518,76 (E-Paper 445,59)  
nur für persönliche Mitglieder  
Studenten: € 134,- (E-Paper 115,10)  
gegen Studienbescheinigung  
Preise (Inland inkl. MwSt., Ausland exkl. MwSt.) zzgl. Versandkosten  
(Inland: € 15,95, Ausland: € 33,21  
Luftpost auf Anfrage)  
Einzelheft: € 65,10 inkl. MwSt.  
zzgl. Versandkosten

Die Mindestlaufzeit beträgt 12 Monate. Im Anschluss an die Mindestlaufzeit ist das Abonnement jeweils zum Monatsende kündbar.

### Satz

Medienpartner Mäurer GmbH  
Auf dem Feldchen 14, 41849 Wassenberg

### Druck

KLIEMO AG, Hütte 53, 4700 Eupen, Belgien

### Copyright

Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Für unverlangt eingesandte Manuskripte kann keine Gewähr übernommen werden.

Weitere Informationen:  
[www.konstruktion-online.de](http://www.konstruktion-online.de)

Auflage IVW-geprüft



## ACE: Wettbewerb für Nachwuchs-konstrukteure

Ein Medizintechnik-Thema steht im Vordergrund des diesjährigen Studentenwettbewerbs der ACE Stoßdämpfer GmbH: Der Innovace 2024 ruft Nachwuchskonstrukteure auf, bis zum 30.09.2024 eine Vorrichtung für die verbesserte Diagnostik von Klettersport-Verletzungen zu entwickeln. Wie das ACE mitteilt, kommt es gerade beim Sportklettern an Händen und Fingern zu Bänder- und Sehnenverletzungen, die bisher per Magnetresonanztomografie (MRT) diagnostisch schwer darstellbar sind. Detailliert geht es um Verletzungen an den Ringbändern. Deren Aufgabe ist es, die Beugesehne zu führen und sie beweglich an der Knochenstruktur der Finger zu befestigen. Problem: Verletzungen an den Ringbändern können nicht optimal ohne Belastung der Finger sichtbar gemacht werden. Daher ist nun ein Hilfsmittel zu entwickeln, das sowohl Bildgebung wie Diagnostik dadurch verbessert, dass im MRT die gleiche Last auf die Finger aufgebracht werden kann wie zum Zeitpunkt der Verletzung. Interessierte sind aufgefordert, eine konstruktionstechnische Lösung zu entwickeln, mit deren Hilfe konstante Kräfte bis zu 1 kN kleinstufig oder stufenlos über einen Klettergriff auf die Finger von Patienten aufzubringen sind. Unterarm oder Hand können fixiert werden und sind gegen Schwingungen wie Muskelzucken isoliert. Es ist eine Anlagefläche für Oberkörper oder Schultern vorzusehen. Die Vorrichtung muss auf verschiedene Armlängen und Handgrößen anpassbar und die Griffstücke austauschbar sein. Außerdem dürfen keine magnetisierbaren Materialien verwendet werden. Zugelassen sind Einzelpersonen oder Teams an Universitäten, TH und FH sowie an Technikerschulen und Fachoberschulen. Das Team oder die Person wird von einer Lehrkraft beim Designentwurf mit technischem Nachweis zur Funktionalität und Machbarkeit betreut. Dotiert ist der Innovace 2024 mit 5.000 Euro. Zusätzlich erhält der begleitende Lehrstuhl eine Unterstützung von 2.000 Euro. [www.ace-ace.de](http://www.ace-ace.de)

# Beschäftigung im Maschinen- und Anlagenbau: Kurzarbeit nimmt zu

Im Maschinen- und Anlagenbau, dem laut VDMA größten industriellen Arbeitgeber in Deutschland, waren zum Jahresende 2023 insgesamt rund 1,03 Millionen Mitarbeiter beschäftigt. Wie der VDMA mitteilt, sind in der Schlüsselbranche trotz Konjunkturlaute im Jahresverlauf noch 13.600 Stellen (+1,3%) entstanden. Der Beschäftigungsaufbau hätte jedoch stärker ausfallen können. Anfang 2023 habe die Mehrzahl der Unternehmen noch geplant, ihr Stammpersonal bis Ende des Jahres auszuweiten. Das war seinerzeit wenig überraschend, denn die Lieferkettenengpässe hatten sich deutlich reduziert und der hohe Auftragsbestand sollte abgearbeitet werden. Die dafür dringend benötigten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter wurden jedoch vielerorts aufgrund des hartnäckigen Arbeitskräftemangels nicht gefunden.



**VDMA-Konjunkturrexperte Olaf Wortmann:** „Noch nie zuvor im wiedervereinigten Deutschland war der Fachkräftemangel so stark. Aber nicht nur Fachkräfte fehlten, sondern Arbeitskräfte insgesamt.“  
Foto: VDMA



**Fabian Seus, Leiter VDMA Competence Center Arbeitsmarkt,** fordert Erleichterungen bei Neueinstellungen, um dem Fachkräftemangel zu begegnen. Foto: VDMA



**Beschäftigung im Maschinen- und Anlagenbau:** war die Bilanz 2023 noch leicht positiv, werden Einstellungen nun heruntergefahren. Grafik: VDMA

„Im Januar 2023 sahen sich 45% der Unternehmen im Maschinenbau durch Fachkräftemangel behindert. Noch nie zuvor im wiedervereinigten Deutschland war der Fachkräftemangel so stark. Aber nicht nur Fachkräfte fehlten, sondern Arbeitskräfte insgesamt“, sagt VDMA-Konjunkturrexperte Olaf Wortmann. Im weiteren Jahresverlauf schlug sich die konjunkturelle Flaute immer stärker am Arbeitsmarkt nieder. Die bei der Bundesagentur für Arbeit gemeldeten offenen Stellen – im April noch mehr als 14.000 – sanken kontinuierlich und lagen zum Jahresende noch bei etwa 12.000. Das ifo Beschäftigtenbarometer zeigt seit dem Spätsommer an, dass mehr Unternehmen im Maschinenbau ihre Belegschaft reduzieren als aufbauen wollen. Und auch die VDMA-Blitzumfragen belegen, dass die Mitgliedsfirmen ihre Einstellungsabsichten reduziert haben. Nach Schätzungen der Bundesagentur für Arbeit lag die Zahl der Kurzarbeiter im Oktober 2023 bereits bei mehr als 17.000. Noch im Juli waren es nur 10.000. „Die Frühindikatoren deuten derzeit auf keine Verbesserung der Lage hin. In den kommenden Mona-

ten ist daher mit einer weiteren Zunahme der Kurzarbeit zu rechnen. Die Unternehmen werden sich bemühen, ihre Stammbesetzung zu halten – allein schon aufgrund des akuten Fachkräftemangels und der demografischen Situation“, erläutert Wortmann. Im Oktober 2023 gaben 39% der VDMA-Mitgliedsunternehmen an, dass sie 2024 keine Ausweitung ihrer Stammbesetzung erwarten. „Mit Blick auf das aktuelle herausfordernde Jahr wäre es ein Erfolg, wenn es den Unternehmen gelingt, ihre Stammbesetzung zu halten“, sagt der VDMA-Konjunkturrexperte. Einen stabilen Arbeitsmarkt bei zugleich schwacher Konjunktur zu erreichen, werde eine zentrale

Aufgabe der Bundesregierung in diesem Jahr sein. „Dafür reichen die geplanten Vorhaben nicht aus, im Gegenteil. Wir brauchen jetzt eine Generalüberholung der arbeitsmarktpolitischen Vorhaben im Koalitionsvertrag. Dazu gehören vor allem Maßnahmen, die Beschäftigung erhalten, wie flexible Lösungsformen durch ein modernes Arbeitszeitgesetz und die Abschaffung der Rente mit 63. Gleichzeitig müssen Neueinstellungen erleichtert werden, um dem Fachkräftemangel zu begegnen. Dafür müssen die Sozialversicherungsabgaben reduziert und Bürokratie abgebaut werden“, fordert Fabian Seus, Leiter VDMA Competence Center Arbeitsmarkt.  
[www.vdma.org](http://www.vdma.org)

EINSCHLAG- + ANSCHWEISSMUTTERN

FLANSCHMUTTERN

**Limbach®-Mutter sind bewährt in vielen industriellen und handwerklichen Anwendungen:**

- als hochfeste Verbindung
- bei Sonderanfertigungen nach Kundenspezifikationen
- aus Stahl, Edelstahl und anderen tiefziehfähigen Werkstoffen
- im Maßbereich M3 bis M20 und darüber, auch entspr. in WW UNC UNF
- in Sondertoleranzen
- durch qualifizierte Beratung und eigenem Werkzeugbau mit CAD

Damit wir Ihrer konkreten Aufgabenstellung passende Lösungsvorschläge unterbreiten können, senden Sie uns bitte Ihre Anfrage.

**Karl Limbach & Cie. GmbH & Co. KG**  
Metallwarenfabrik gegründet 1898  
Postfach 190365 · 42703 Solingen  
Fon +49 (0) 212 / 39 80 · Fax +49 (0) 212 / 39 899  
[www.limbach-cie.de](http://www.limbach-cie.de) · [info@limbach-cie.de](mailto:info@limbach-cie.de)



**Kernziel von Führung** ist die Motivation und Verpflichtung Einzelner oder eines Teams, Ziele erreichen zu wollen. Foto: Gettyimages/Westend61

Agile Entwicklung mechatronischer Produkte

# Führung in der Welt AGILiens

Organisatorische Veränderungen in Unternehmen werden oft mit der Metapher einer Reise umschrieben. Der VDI-Fachausschuss 710 hat dies schon in mehreren Beiträgen genutzt, um das Land „AGILien“ zu umreis(s)en – auch diesmal im Beitrag zum Thema Führung.

**W**irksame Führung sowie Management gilt als wesentliche Voraussetzung für erfolgreiche Produktentwicklungsprojekte. Dabei ist Führung ein Thema, welches schon immer im Mittelpunkt der Interessen von Menschen stand – so auch in der Welt AGILiens. Mit Führung werden dynamische Bilder, beispielsweise starke Persönlichkeiten, heldenhafte Führer sowie erfolgreiche Manager, assoziiert. Bei Führung geht es immer da-

rum, in irgendeiner Form Verhalten zu regulieren, um Ziele zu erreichen. Wie der Einfluss auf das entsprechende Verhalten der Beteiligten ausgeübt werden soll, ist außerhalb AGILiens stark umstritten. So können direkte Anweisungen ebenso zum Erfolg führen, wie demokratische Prinzipien, die das Verhalten der Gruppe bestimmen. Dies institutionalisiert sich in den verschiedenen Ausführungen im Rahmen der Führungsstile, beispielsweise der des Servant Leadership oder Shared Leaderships. Diese Kontroverse besteht seit langen und spiegelt sich sicherlich auch in der Diskussion zu

agilem Leadership wider. Dabei geht es nicht nur darum, von wem genau Einfluss ausgeübt wird, sondern auch in welcher Form und was das Ergebnis ist.

Ein guter Reiseführer gibt der am fremden Land interessierten Person nützliche Hinweise und Erläuterungen zu außergewöhnlichen und daher sehenswerten Dingen, eben die Besonderheit der Bevölkerung und der Landeskultur. Er macht auf Gewohnheiten und die Lebensart der Bewohnerinnen und Bewohner aufmerksam und erläutert notwendige Hintergründe und deren Bedeutung. Für AGILien ist eine der

sehr bemerkenswerten Lebensarten die Art und Weise wie Führung stattfindet und gepflegt wird. Wichtige Bezüge finden sich in der Kultur verankert wieder, weshalb die Beschäftigung mit der Kultur AGILiens zwangsläufig ist (vergleiche dazu Kapitel Kultur des Reiseführers).

Bei einer Reise durch AGILien begegnen einem viele Menschen, die ihren täglichen Aufgaben und Bedürfnissen nachgehen. Viele sind mit ihren beruflichen Aufträgen und Herausforderungen beschäftigt oder arbeiten an privaten Projekten (zum Beispiel Hausbau oder Gartengestaltung). Immer wieder gibt es kleine Gruppen, die augenscheinlich Planungen durchführen oder Ergebnisse bewerten. Diese Runden werden organisiert und geleitet, sodass sich eine Führung erkennen lässt. AGILien kennt demnach entgegen vielen Behauptungen die organisatorische Aufgabe der Führung. Jeder Reisende sollte sich unbedingt mit der Art und Weise beschäftigen, wie Führung stattfindet und welche Leitlinien sich aus der Kultur der agilen Produktentwicklung herausgebildet haben.

Zunächst muss man sich als Beobachter gegen eine übliche Verwechslung wappnen: Management ist nicht zu verwechseln mit Führung. Die Unterscheidung wird in einem sehr populären Merkspruch deutlich:

**„You can manage firms, but you have to lead people.“**

Geht es im Management im Kern um Ressourcenzuteilung zur Zielerreichung sowie der Vorgabe der Art und Weise des Tuns, so geht es in der Führung im Kern um die Erreichung von Motivation und Verpflichtung Einzelner oder eines Teams, Ziele erreichen zu wollen. Führung ist menschenzentriert. Führung ist keine Prozedur, sondern eine Tätigkeit einer Person, die in einer Umwelt und einer Kultur stattfindet. Führung ist nicht auf das Wirken einer Führungskraft oder eines Vorgesetzten beschränkt. Sie ist immer eingebettet in die Arbeitsweise eines Teams, seiner Umgebung und seiner Situation. Sie gestaltet sowohl die Arbeitsweise und die Umgebung, wirkt aber auch gleichzeitig auf sich selbst zurück.

In AGILien ist diese konkrete Arbeitsweise in der Mehrzahl der Projektaufgaben durch die Anwendung von Scrum ge-

prägt. Dennoch beschränkt sich die agile Arbeitsweise nicht auf Scrum. Dort werden selbstorganisierte Teams postuliert, welche selbstständig darüber entscheiden sollen, welche Schritte zu erledigen sind (vergleiche die Veröffentlichung zum Thema Selbstorganisation). Bei der Selbstorganisation in AGILien nehmen alle am Prozess beteiligten Personen Führung wahr. Beobachtet man agile Teams bei ihrer Arbeit, dann sind in den vorgeschriebenen Rollen Führungsaufgaben vorhanden und hinterlegt. Der Product Owner managt zwar die Backlog-Arbeiten, die Beteiligung im Sprint-Planning zielt aber auf die Führung eines Teams ab. Er oder sie stellt mit dem Team die Zielverpflichtung (Commitment) her. Dies ist einer der wichtigsten Punkte, wodurch wirksame und erfolgreiche Sprintergebnisse abgesichert werden. Würde der Product Owner die Art und Weise, wie das Ziel zu erreichen ist „vorschreiben“, würde er oder sie sich aus der Aufgabe des Führens verabschieden. In diesem Zusammenhang wird auch die Rolle eines Agile Masters deutlich: Dieser hat auf die Umsetzung von Führung zu achten und das Team vor dem Reflex dominanter Managerinnen und Manager und dem zeitraubenden Verhandlungstheater zu bewahren. Auch in allen Events ist die Führung vorhanden. Retrospektiven, als Sprint mit Stakeholdern und Kunden, geben Feedback und leiten das Team und jede Person.

Es existiert viel Literatur über Führungsstile, diese sind auch in AGILien bekannt und werden dort genutzt. Allerdings gibt es keinen dominanten Führungsstil, weil verstanden wurde, dass dies die eigene Beweglichkeit einschränkt. Am ehesten ist das Konzept des „situativen Führens“ erkennbar. Dies gilt aber nur im übertragenen Sinne, da sich situatives Führen häufig auf die Beachtung persönlicher Situationen (emotionaler Zustand) des Geführten bezieht. Verteilte Führung und dienende Führung werden ebenfalls öfters assoziiert.

Führung wird insbesondere sichtbar, wenn die Dinge nicht so laufen, wie es vorgesehen oder verabredet war. Einige Aspekte, die in AGILien zu beobachten sind, werden im Folgenden beschrieben:

### **Steige vom Pferd, wenn es tot ist**

Das Pferd ist hier natürlich nur symbolisch gemeint. Wichtige Führungsaufga-

be, um die Mannschaft oder Bevölkerung AGILiens vor unnötigem Aufwand zu schützen. Sinnlosigkeit vermeiden, also die Behauptung, dass das Pferd doch Leistung erbringen kann. Naheliegender wäre das Absteigen, aber im wirtschaftlichen Umfeld werden eben auch andere Verhaltensweisen plausibel:

- „Wir besorgen eine stärkere Peitsche, um doch voranzukommen“,
- „Wir wechseln die Reiter“,
- „Wir etablieren erstmal eine Analysegruppe“,
- „Wir bilden eine Task Force, um schneller zu werden“, u.a.m.

Derartiges Führungsverhalten lähmt das Team. Es nimmt dem Team die Motivation, da die Führungskraft die Sinnlosigkeit des Tuns erhält. Führung muss gezielt erfolgen, die gemeinsame Vision vermitteln und Sinnhaftigkeit erzeugen.

### **Erschieße nicht den Boten**

Schlechte Nachrichten werden durch Verschönerung oder Verheimlichung nicht besser. Im Gegenteil ist hier Aktualität und unmittelbare Information der Trumpf. Teammitglieder oder Beteiligte entscheiden genau an einer solchen Bestrafungsreaktion, ob sie weiterhin motiviert mitarbeiten. Die Nachricht über den bedauernden Boten verbreitet sich immer in Windeseile. Dieses Ereignis zerrüttet das Vertrauen und unterminiert die Bereitschaft, an der Problemlösung engagiert mitzuarbeiten. Wenn allein die Nachricht die Bestrafung auslöst und wenn sie auch nur so empfunden sei, dann kann es mit der Bereitschaft, Risiken einzugehen nicht weit her sein. Überlegtes Hinterfragen der Umstände, die zur Situation geführt haben, ist richtig. Hier zeigt sich die Routinen der Stand-Ups und Retrospektiven.

### **Spiele nicht das „Blame Game“**

Die Suche nach den Schuldigen ist nicht der Weg, um eine Lösung für ein Problem zu finden. Sie ist zwar eine verständliche emotionale Reaktion, muss aber Ausdruck des persönlichen Empfindens bleiben. Auch in AGILien darf sich geärgert werden und der Ärger auch mitgeteilt werden. Das Team kann in solchen Situationen aber schnell helfen und die Aufmerksamkeit auf die Notwendigkeit der Problemlösung lenken. In AGILien können Führungspersonen sehr gut zwischen Schuldzuweisung und Verant-

# VDI 2123: Ebene Gelenktriebe

Der im Februar erscheinende Weißdruck der Richtlinie VDI 2123 „Ebene Gelenkgetriebe – Übertragungsgünstige Umwandlung einer Antriebs-Dreh-schwingbewegung in eine Abtriebs-Dreh-schwingbewegung“ unterstützt den Entwurf von Maschinen mit einem schwingenden Funktionsglied, wobei die Bewegung aus einer anderen Schwingbewegung in der Maschine abgeleitet werden kann. Das Viergelenkgetriebe eignet sich dazu als die einfachste mechanische Struktur.

Bei der Anwendung können unterschiedliche Eigenschaften der Bewegungsübertragung berücksichtigt werden wie Hubvergrößerung oder Hubverkleinerung, Übertragungsgüte und das Beeinflussen des Verlaufs der Bewegung des Funktionsglieds. Insbesondere können zum Erreichen einer gesicherten Endlage des Funktionsglieds Totlagen eingesetzt werden, eventuell mit einem hohen Abtriebsmoment oder zur Reduzierung der Stoßempfindlichkeit. Anwendungen findet man bei Stellgetrieben, langsamen Bewegungen, handbetätigten Geräten, Maschinen für den Straßenbau, Landwirtschaft und schnelllaufenden Maschinen für die Massenfertigung.

Diese Richtlinie ersetzt die VDI 2123:2008-09 und die VDI 2124:2008-09. Gegenüber diesen Vorgängern ist es gelungen, Verbesserungen aufzunehmen, etwa:

- Klarere Aufgabenstellung durch die Unterscheidung der Totlagen;
- Es werden Formeln für die rechnerischen Verfahren angegeben;
- Dies ermöglicht das Erstellen kleiner Programme und eine schnellere Variation möglicher Lösungen;
- Die Excel-Rechenblätter aller Lösungsverfahren wurden ergänzt;
- Bei rechnerischen Verfahren, die ein iteratives Vorgehen erfordern, können die Hilfsgrößen aus einem Diagramm entnommen werden;
- Für die gleichläufige Aufgabe konnten bisher unbekannte Lösungsbereiche erschlossen werden.

[www.vdi.de/2123](http://www.vdi.de/2123)

## BISHERIGE BEITRÄGE:

- Erste Schritte auf der Reise in ein neues Land  
Konstruktion (BD 74) 4 (2022), S. 10-11
  - Eine Reise nach AGILien – Reisevorbereitung  
Konstruktion (BD 74) 6 (2022), S. 10-12
  - Selbstorganisation als Basis der Kultur AGILiens (Teil 1)  
Konstruktion (BD 75) 1/2 (2023), S. 12-13
  - Selbstorganisation als Basis der Kultur AGILiens (Teil 2)  
Konstruktion (BD 75) 3 (2023), S. 12-13
- Alle Beiträge wurden vom Fachausschuss 710 der VDI-GPP erstellt.

wortungszuweisung unterscheiden. Letzteres beruht auf der Fähigkeit, das Handeln der Person in der jeweiligen Situation zu beurteilen. Es beruht darauf, das Fehlverhalten in seiner Zumutbarkeit und seiner ausgesprochenen Pflichtübernahme klarzumachen. Darin zeigt sich die außergewöhnliche Kultur AGILiens.

### Die Mannschaft ist der Star

Sicherlich ist die Mühe und der Aufwand zu führen, einer der wichtigsten Faktoren für Erfolg. Aber genauso wichtig ist es, zu verstehen, dass die führende Person für das Team da ist und für das Team einsteht. Die Projektion oder Aneignung des Erfolgs auf Einzelne ist demotivierend. In AGILien haben die Bewohner erkannt, dass sie Teil von etwas Größerem sein können als sie allein je erreichen könnten. Diese Erkenntnis hat ihre Bereitschaft zur Leistung gesteigert.

Führung in den Teams AGILiens hat immer auch sehr viel mit emotionaler Intelligenz zu tun. Sie berücksichtigt die Erfahrungen, Wahrnehmungen und Persönlichkeiten der Menschen, mit denen sie zusammenarbeitet. Diese Fähigkeit ist eine immaterielle Fähigkeit. AGILien ist weit davon entfernt, emotionale Intelligenz als Voraussetzung oder Prinzip für Führung anzuerkennen. In den Situationen, in denen Unvorhergesehenes oder Rückschläge eintreffen, ist das rationale Führen im Sinne des überlegten konsultativen, ruhigen, aber stetigen Führens anerkannt und sogar gefordert. Eine Führungskraft darf niemals zu einer Behinderung oder Belastung für das agile Team werden. Die Führungskraft muss in AGILien zu einem Wertbaustein für die Bevölkerung werden. Diese Idee wird im Handeln der Bewohner AGILiens erkennbar und somit zu einem Bestandteil ihrer Kultur.

Zusammenfassend geht es darum, die Teams im Land AGILien zu befähigen, so dass sie bestmögliche Ergebnisse erzielen und somit einen Wert schaffen. Dabei ist jedoch für die traditionellen Inhaber der Führungsverantwortung zu berücksichtigen, dass ein Teil der Verantwortung an das Team übergeht. Die Verantwortung wird dadurch vielmehr lateral verteilt, so dass neue Führungsrollen entstehen. In AGILien wird davon ausgegangen, dass die Teammitglieder das „Wie“ auf Grund ihrer Erfahrungen besser erledigen können. Dies geschieht zumeist nach Expertise und nicht über strukturelle Vorgaben. Dabei ist die dahinter liegende Philosophie stark an die agilen Werte und Prinzipien des agilen Manifests gekoppelt (vergleiche die Veröffentlichung zum Thema Kultur), welche bessere Wege vorschlagen, um Produkte zu entwickeln. Dennoch ist dieser Weg nicht einfach, weil viele Dinge in Frage gestellt werden, die über Jahre hinweg funktioniert haben. Es ist ein schwieriger Weg, jedoch ein Weg, der sich lohnt, auch wenn er Kritikfähigkeit, Mut, Zielstrebigkeit und Kommunikation auf Augenhöhe erfordert. Die Chance, als Team zusammenzuwachsen und geteilte Führung zu erleben ist jedoch ein Aspekt, der sich besonders in dynamischen Umgebungen auszuzahlen scheint. Viele Reisende bekundeten, dass sich dieser anstrengende Weg mehr als ausgezahlt hat, weil sich Perspektiven und Chancen ergaben, die man sich vorab hätte, nicht mehr erträumen lassen können. Der oftmals gebrachte Spruch „Dann gibt es ja keine Führung mehr“ ist falsch, denn agiles Arbeiten und Entwickeln bedeutet mitnichten Führungslosigkeit. ■

### Kontakt

VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung

[gpp@vdi.de/produktentwicklung](mailto:gpp@vdi.de/produktentwicklung)

# Deutschland braucht Vielfalt

## Stellungnahme des VDI-Präsidiums

Der VDI steht für technische Innovationen und eine fortschrittliche Gesellschaft. Unsere gemeinsame Leidenschaft für Technologie und Fortschritt verbindet uns im VDI. Sie treibt uns an, Perspektiven für einen attraktiven Standort Deutschland als integralen Bestandteil Europas zu entwickeln und Zukunft zu gestalten. Wir setzen uns für eine technologieoffene, inklusive und tolerante Zukunft ein, in der alle Menschen gleichberechtigt sind. Der Austausch unterschiedlicher Perspektiven und Ideen hat sich als ideale Basis für Innovation und Fortschritt erwiesen. Wir schätzen und nutzen daher die Vielfalt unterschiedlicher Hintergründe, Standpunkte und Meinungen. Wir stehen zu den Ethischen Grundsätzen des Ingenieurberufs, die der VDI zuletzt im Jahr 2021 veröffentlicht hat. Damit achten wir die universalethisch anerkannte Rangfolge:

- Menschenrechte und Umweltschutz vor Nutzenerwägungen,
- öffentliches Wohl vor privaten Interessen und
- hinreichende Sicherheit vor Wirtschaftlichkeit und bloßer Funktionalität.

Wir sind davon überzeugt, dass die internationale Vernetzung eine wichtige Voraussetzung für die Zukunft unseres Wissenschafts- und Wirtschaftsstandorts Deutschland ist. Im VDI sind wir international vernetzt. Unsere Mitglieder finden vielfältige Anknüpfungspunkte in beruflichen und persönlichen Netzwerken – vor Ort, national und international. Der Austausch mit verschiedenen Kulturen ist für uns bereichernd und unverzichtbar.

Uns ist bewusst, dass Deutschland die Zuwanderung und Integration von Fachkräften aus dem Ausland benötigt. Daher setzen wir uns für eine Fachkräftewillkommenskultur ein und bieten selbst Angebote für die Eingliederung von ausländischen Fachkräften an.

Wir setzen uns dafür ein, dass die Rollenverantwortung von Ingenieurinnen und Ingenieuren über die Fachkompetenz hinaus ausgebaut wird – unter anderem mit ethischen, sozialen, interdisziplinären und interkulturellen Kompetenzen.

Vor dem aktuellen Hintergrund der Demonstrationen für Demokratie und Vielfalt setzen wir als Präsidium ein Zeichen und stellen uns klar gegen jegliche Form des Extremismus und der Fremdenfeindlichkeit.

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

## VDI YOUNG ENGINEERS KONGRESS 2024 IN MÜNCHEN

Vom 17.-20. April 2024 treffen sich Studierenden und Young Professionals unter dem Motto „Gemeinsam für die Zukunft“ in München beim VDI Young Engineers Congress. Wie immer steht neben dem inhaltlichen Austausch das Netzwerken im Vordergrund. Möglich wird dies bei spannenden Exkursionen, in interessanten Workshops und Vorträgen und beim Rahmenprogramm. Auch Expertinnen und Experten der GPP stellen ihre Ansätze beispielsweise zum Thema Ecodesign zur Diskussion. Anmeldungen sind jetzt möglich:

[www.vdi.de/young-engineers-kongress](http://www.vdi.de/young-engineers-kongress)

## VDI-FORUM AGILE ENTWICKLUNG MECHATRONISCHER SYSTEME

Jetzt schon vormerken: Das nächste Forum für alle, die sich mit agiler Entwicklung mechatronischer Systeme beschäftigen, findet am 19. Juni 2024 in Radebeul statt.

## Bundespreis Ecodesign – Ausschreibung 2024

Bis zum 15. April haben Unternehmen aller Branchen und Größen, Gestalter\*innen und Studierende aus ganz Europa die Möglichkeit, ihre Projekte für den Bundespreis Ecodesign einzureichen.

Die Teilnahme steht sowohl für bereits marktreife Produkte

und Dienstleistungen als auch für Konzepte und studentische Arbeiten offen. Der Fokus liegt dabei auf fortschrittlichen Ideen, die nicht nur in gestalterischer, sondern auch ökologischer Hinsicht überzeugen. Neben Designinnovationen sind auch technische und soziale Innovationen gefragt. Bewerben Sie sich jetzt für die höchste staatliche Auszeichnung für ökologisches Design in Deutschland! Weitere Informationen und Bewerbung unter:

[www.bundespreis-ecodesign.de](http://www.bundespreis-ecodesign.de)



**Bundespreis Ecodesign:** Bewerbungen sind jetzt möglich. Foto: Maja Redlin

## Agrartechnisches Wissen bündeln und effizient zugänglich machen

Bereits seit 1975 erscheinen Dissertationen und Habilitationen aus dem Wissenschaftsgebiet der Agrartechnik in einer eigenen VDI-Schriftenreihe. Seit Kurzem können Interessierte über eine Internetdatenbank Autoren und Titel recherchieren sowie Zusammenfassungen der Arbeiten herunterladen:

[www.vdi.de/dissertationen-meg](http://www.vdi.de/dissertationen-meg)

Herausgeber der Richtlinie ist die VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (VDI-GPP). Sie kann beim Beuth Verlag (Telefon (0 30) 26 01 – 22 60) bezogen werden. Online-Bestellungen sind unter [www.vdi.de/2123](http://www.vdi.de/2123) und [www.beuth.de](http://www.beuth.de) möglich. VDI-Mitglieder erhalten 10% Preisvorteil auf alle VDI-Expertenempfehlungen und -Richtlinien. Sie können in vielen öffentlichen Auslegestellen kostenfrei eingesehen werden.



**Bild 1:** Rodriguez liefert die Gleitlager in verschiedenen Ausführungen, auch als Baugruppe zusammen mit Gehäuse und Welle inklusive der Bearbeitung nach Zeichnung. Foto: PBC Linear Europe GmbH/Rodriguez GmbH

**Beschichtung sorgt für fortlaufende Selbstschmierung**

# Präzisionsgleitlager für widrige Umgebungen

Die selbstschmierenden Präzisionsgleitlager von Rodriguez verfügen über eine besondere Beschichtung, die eine fortlaufende Selbstschmierung über die gesamte Lebensdauer bewirkt.

In der obersten Gleitschicht ist ein Verbundmaterial aus Teflon und Füllstoffen enthalten, welches sich zum ersten Mal in der sogenannten Einlaufphase in einem mikroskopischen Film auf der Gegenfläche oder Welle abgelagert und sich den Vertiefungen in der Oberfläche anpasst. Die Gleitlager finden im industriellen Bereich überall dort Anwendung, wo Wälzlager aufgrund von Schmutz, Temperatur oder notwendiger Schmierung nicht eingesetzt werden können.

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

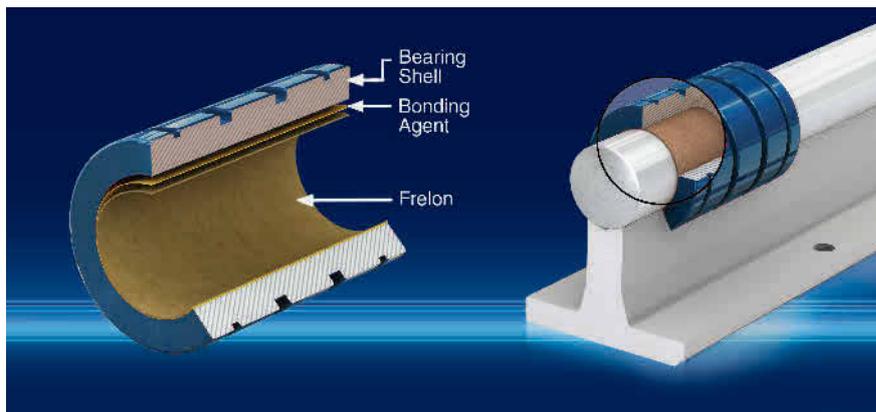
Im Gegensatz zu Wälz- oder Kugellagern enthalten Gleitlager keine beweglichen Teile, sind einfacher aufgebaut und langfristig wirtschaftlich. Zum einen sind sie robust und schmutzunempfindlich und damit die perfekte Lösung für widrige Umgebungen, etwa in der Schwerindustrie, in landwirtschaftlichen Betrieben oder in der Schifffahrt. An dieser Stelle kommt es darauf an, dass zum Beispiel Turbinen oder Kompressoren zuverlässig und ohne Unterbrechungen laufen. Zum anderen gleichen die Lager Belastungen aus und sorgen für einen ruhigen, geräuscharmen Arbeitsablauf. Sie gewährleisten eine gute Dämpfung bei Erschütterungen und Vibrationen, weil die Last vollflächig aufgenommen wird. Gleitlager eignen sich auch ideal für Anwendungen, bei denen es auf eine kompakte, leichte Bauweise ankommt, beispielsweise im Automobilbau.

Wälzlager hingegen stehen zwar für eine präzise, reibungsarme Leistung, sind jedoch anfällig für Verunreinigungen. Der direkte Kontakt des Wälzelements (Kugel) und dem Wellen- oder Schienenmaterial erfordert, dass stets Schmierfett oder Öl vorhanden ist, damit keine Reibungs- und Verformungsschäden entstehen. Auch bei nicht selbstschmierenden Gleitlagern ist ein externes oder internes Schmiersystem erforderlich.

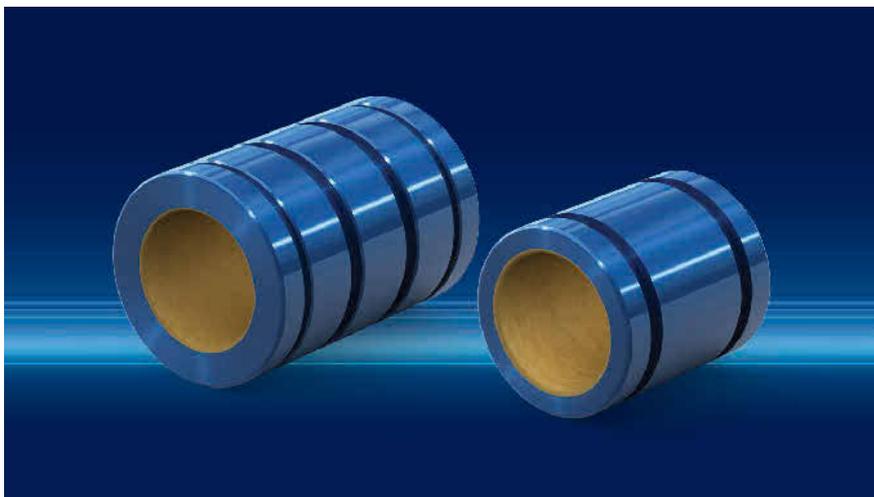
## Schmiermedium ist Teil des Lagermaterials

Mit der Verwendung selbstschmierender Gleitlager kann auch in den schwierigsten Umgebungen der reibungslose, dauerhafte Betrieb von Anlagen sichergestellt werden. Selbstschmierende Gleitlager benötigen keine zusätzlichen Schmierfette und Öle und damit auch keine Wartung – sie verursachen also keine Zusatzkosten. Im Gegensatz zur externen Schmierung ist bei Lagern mit Selbstschmierung das Schmiermedium wesentlicher Bestandteil des Lagermaterials und muss eben nicht zusätzlich aufgebracht werden.

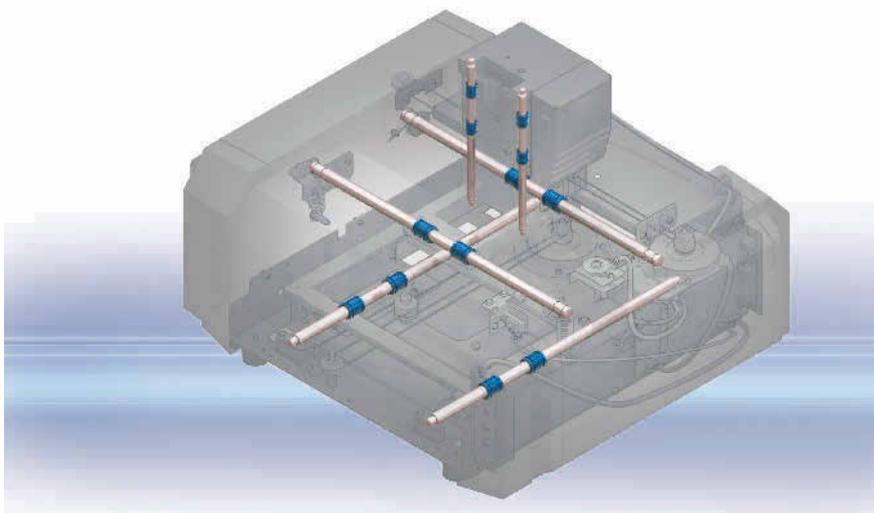
Der Materialtransfer ist eine fortlaufende dynamische Funktion und findet während der gesamten Lebensdauer des selbstschmierenden Lagers statt. Die Schmierung wird nicht aufgebraucht und altert nicht, bleibt also durchgängig effektiv. Wie viel Material bei einer Anwendung jeweils übertragen wird, hängt von verschiedenen Faktoren ab, beispielsweise



**Bild 2:** Das selbstschmierende Gleitlager ist ein Präzisionsgleitlager aus Aluminiumlegierung AlMg1 SiCu mit Frelon-Beschichtung. Das Frelon lagert sich während des Betriebs fortlaufend in einem mikroskopischen Film auf der Welle ab und sorgt für eine Selbstschmierung. Foto: PBC Linear Europe GmbH/Rodriguez GmbH



**Bild 3:** Die Lager werden in Standardgröße (5 bis 100 mm Durchmesser) und dünnwandiger Kompaktgröße (6 bis 50 mm Durchmesser) angeboten. Foto: PBC Linear Europe GmbH/Rodriguez GmbH



**Bild 4:** Großdrucker sind ein Beispiel für die Anwendung der selbstschmierenden Gleitlager. Foto: PBC Linear Europe GmbH/Rodriguez GmbH

von der Geschwindigkeit, Belastung und Hublänge. Eventuell vorhandene Schmutzpartikel, die die Welle beschädigen könnten, werden dabei einfach von der Frelon-Beschichtung (Schreibweise Rodriguez: Frelon®) absorbiert und entstehende Hitze über das Lager wieder abgeleitet.

## Mikroskopischer Film auf Gegenfläche und Welle

Das selbstschmierende Gleitlager von Rodriguez ist ein Präzisionsgleitlager aus Aluminiumlegierung AlMg1 SiCu mit Frelon-Beschichtung. Es ist im Vergleich zu anderen Lagern deutlich leistungsfähiger. Das Frelon in der obersten Gleitschicht ist ein Verbundmaterial aus Teflon und Füllstoffen, welches sich zum ersten Mal in der sogenannten Einlaufphase in einem mikroskopischen Film auf der Gegenfläche oder Welle ablagert. Es passt sich den Vertiefungen in der Oberfläche an und erzeugt einen Frelon-auf-Frelon-Laufzustand, der für dauerhafte Schmierung sorgt und die Reibung verringert. Der erste Übertragungsprozess ist nach 50 bis 100 Hüben im Dauerbetrieb abgeschlossen.

„Prinzipiell sind die selbstschmierenden Gleitlager überall da einsetzbar, wo feiner Staub auftritt, zum Beispiel in der Papier- und Holzbearbeitung, aber auch dort, wo generell kein Schmiermittel ein-



**Bild 5:** Die selbstschmierenden Gleitlager sind kompakt, leicht und geräuscharm und eignen sich damit auch sehr gut für Anwendungen im Automobilbau. Foto: PBC Linear Europe GmbH/Rodriguez GmbH

gesetzt werden darf oder ein Wälzlager aufgrund von Schmutz, Temperatur oder notwendiger Schmierung nicht eingesetzt werden kann“, erläutert Timo Hermann, Niederlassungsleiter Süddeutschland und Produktmanager Lineartechnik und Präzisionslager bei Rodriguez. In der Holzverarbeitenden Industrie werden die Gleitlager meist in Aluminium-Gehäusen auf gehärteten Präzisionsstahlwellen eingesetzt, die ebenfalls bei Rodriguez erhältlich sind. Rodriguez bietet die rost- und

korrosionsbeständigen Lager in offener und geschlossener Form an. Um Verspannungen und Klappern im Betrieb zu vermeiden, gibt es die Lager mit „Krone“ auf dem Außenring, welche einen Winkelfehlerausgleich von 1° ermöglicht. Die Lagergehäuse sind auch aus rostfreiem Stahl erhältlich.

Die Lager werden in Standardgröße (5 bis 100 mm Durchmesser) und dünnwandiger Kompaktgröße (6 bis 50 mm Durchmesser) angeboten. Aufgrund ihrer kompakten Bauweise benötigen die Gleitlager nur wenig Platz. Sie sind vergleichsweise leicht, dabei verschleißfest und hochbelastbar und für sehr hohe wie auch sehr niedrige Temperaturen geeignet. Für extrem hohe Temperaturen, die mit einem höheren Laufspiel einhergehen, empfiehlt Rodriguez die Lagervariante mit ausgleichendem Innendurchmesser (Variante FMC). Alle Gleitlager sind auch in zölligen Abmessungen erhältlich, erfüllen die ISO-Norm 8015 und bieten die von Rodriguez gewohnte Präzision: Alle kritischen Oberflächen wurden auf Präzisionsschleifgeräten für Lager geschliffen.

## Aus Standardlagern können Sonderlager entstehen

Rodriguez liefert die Gleitlager auch als Baugruppe zusammen mit Gehäuse und Welle inklusive der Bearbeitung nach Zeichnung. Grundsätzlich ist man bei Rodriguez dazu bereit, aus jedem Standardlager ein Sonderlager zu fertigen. Lösungen jenseits des Standards, die Value Added Products (VAP), sind bei Rodriguez Programm: „Bezüglich Sonderlösungen sehe ich unsere Stärke in der Integration von Umbauteilen in das Lager, wo wir individuell auf die Kundengeometrie eingehen können“, betont Produktmanager Timo Hermann. Diese kunden- oder anwendungsorientierte Modifikation kann zum Beispiel eine angepasste Länge sein. Für Rodriguez sprechen weiterhin kurze Antwortzeiten und kurzfristige Verfügbarkeit von Komponenten sowie eine kompetente technische Beratung vor Ort. ■

## SCHWENKTRIEBE FÜR HEAVY-DUTY-ANWENDUNGEN

Rodriguez hat auf der vergangenen Agritechnica Schwenktriebe und Drehverbindungen vorgestellt, die für den Einsatz in Land- und Forstwirtschaft, im Schwermaschinenbau oder in Offshore-Anwendungen geeignet sind.

Schwenktriebe erhöhen die Leistung eines Motors bei Anwendungen mit hohem Drehmoment und halten gleichzeitig hohen axialen und radialen Belastungen sowie Kippmomenten stand. Sie bestehen aus einem Lager, einer Antriebsschnecke oder Ritzel und einem Gehäuse mit Dichtungen, die das Eindringen von Schmutz, Staub und Wasser in die Verzahnung verhindern. Rodriguez bietet seine Schwenktriebe als einbaufertige Systembaugruppe mit Gehäuse und Abdichtung an. Weil Gehäuse, Kugeldrehverbindung und Antriebsschnecken aufeinander abgestimmt sind, entfallen langwierige Einstellungen und Einzelmontagen. Aufgrund des geschlossenen Gehäuses ist das Getriebe vor Schäden durch Staub, Schmutz, Salz, Steine und eindringendes Wasser geschützt.



**Die Schwenktriebe** sind in den verschiedensten Bereichen einsetzbar. Foto: Rodriguez GmbH

### Kontakt

Rodriguez GmbH  
52249 Eschweiler  
Tel. (0 24 03) 780 – 0  
info@rodriguez.de  
www.rodriguez.de

## Direktantrieb mit Leistungsregelung

# Kompakter Antrieb für FTS

In der Smart Factory – ob Produktion, Lager oder Logistik – spielen Fahrerlose Transportsysteme (FTS) eine entscheidende Rolle. Sie optimieren den innerbetrieblichen Transport von Materialien und Komponenten, automatisieren die Kommissionierung, optimieren den Materialfluss und verwalten Lagerbestände effizient, kostengünstig und ressourcenschonend. FTS erhöhen die Flexibilität und Sicherheit, verbessern die Arbeitsbedingungen und steigern damit die Produktivität. So werden sie gerade im Zuge des Fachkräftemangels immer unverzichtbarer in den intralogistischen Prozessen.

Intelligente Antriebslösungen sind elementare Bestandteile von Fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF). Ketterer hat mit dem i-Wheel einen ultrakompakten Radnabenmotor entwickelt für FTS entwickelt. Mit einer Bautiefe von 185 mm – inklusive Motion Controller – ist dieser getriebeleose Torquemotor i-Wheel C 3213 komplett in der Nabe integriert. Der Wegfall eines zusätzlichen Getriebes minimiert den Verschleiß und die Lebensdauer erhöht sich signifikant im Vergleich zu herkömmlichen Antriebstechniken mit Getriebestufe.

Wie das Unternehmen mitteilt, besitzen die Antriebe trotz der kompakten Bauweise eine hohe Leistungsdichte. Das zeige sich zum Beispiel in puncto Schnelligkeit: Mit dem Nennstrom von 4,5 A erreiche er Endgeschwindigkeiten bis 10 km/h. Zudem lassen sich aufgrund der geringen Bautiefe einfach zwei Antriebe auf einer Drehscheibe anordnen. So könne ein FTF mit i-Wheel Clever-Antrieben einfach mit einem Null-Wende-Radius manövriert werden.

## PU-Belag senkt Lärmbelastung für die Mitarbeiter

Die permanente Überwachung der Temperatur ermöglicht den Angaben zufolge einen sicheren Betrieb. Der PU-Belag sorgt für exzellente Laufeigenschaften mit kaum wahrnehmbarem Geräuschniveau und senkt damit die Lärmbelastung für die Mitarbeiter. Aufgrund der patentierten Lösung lässt sich der Fahrbelag einfach und schnell vor Ort austauschen und Wartungszeiten werden minimiert.

Die i-Wheel-Serie besteht aus drei Grundbaugrößen, die sich an die jeweiligen Anforderungen anpassen lassen. Die Lösung mit integriertem Motion Controller wurde vorerst nur bei der mittleren Baugröße der i-Wheel Familie realisiert und ermöglicht eine maximale Achslast von 2.500 N. Die beiden weiteren Leistungsklassen mit einer maximalen Achslast von 800 N oder 7.500 N sind ebenfalls in der Planung.

Der Circulo 9 Motion Controller von Synapticon setzt, wie das Unternehmen ausführt, neue Maßstäbe in der Antriebsregelung und macht den i-Wheel Clever zu einem intelligenten und funktionssicheren Antriebssystem für Fahrerlose Transportsysteme. Mit über zehn zertifizierten Sicherheitsfunktionen (SIL2, PL-d) und einem High-Speed Ether-CAT Interface bietet er



Der Radnabenantrieb i-Wheel Clever mit integriertem Motion Controller ist ein kompaktes Antriebssystem für FTS. Foto: Ketterer

höchste Performance bei niedriger Latenz und vernachlässigbarem Jitter. Die benutzerfreundliche Parametrierungs- und Tuning-Software macht die Integration in FTS-Systeme einfach und effizient. Der Einsatz von Standardsteckern und -kabeln macht aufwendige Anpassungen in den Fahrzeugen überflüssig und erleichtert die nahtlose Integration zusätzlich

Das System ist standardmäßig mit einem High-Resolution-Absolut-Encoder ausgestattet und wird für hohe Effizienz und eine maximale Bandbreite modellprädiktiv und feldorientiert geregelt. Um die Sicherheit weiter zu erhöhen, kann in den Antrieb optional eine Notstopp-Bremse mit Energiesparmodus integriert werden. Ketterer präsentiert den i-Wheel Clever auch auf der kommenden Logimat in Halle 7/Stand G 07. ■

## Kontakt

B. Ketterer Söhne GmbH & Co. KG  
78120 Furtwangen  
[www.ketterer.de](http://www.ketterer.de)

Reibungsarm lagern und fördern:

# Fünf Auswahlkriterien für Kugelrollen

Ob in der Logistik, im Maschinenbau oder in Montage und Verpackung: Kugelrollen gehören zu den Hidden Champions der Fördertechnik. Doch so vielfältig das Einsatzspektrum ist, so entscheidend ist die Produktauswahl. Worauf kommt es dabei an?

**K**ugelrollen gibt es in zahlreichen Varianten und Größen: Sie sorgen in unterschiedlichsten Szenarien für einen zuverlässigen Materialfluss und machen selbst tonnenschwere Werkzeugmaschinen mobil. „Wussten Sie, dass sogar Eisenbahnweichen auf Kugelrollen gelagert sind“, fragt Christian Oppelt, Produktmanager Kugelbüchsenführungen und Kugelrollen bei Bosch Rexroth. Diese müssen natürlich auch unter extremen Bedingungen funktionieren: bei sengender Hitze und klirrender Kälte. Am Ende gehe es darum, die geforderte Lebensdauer zu erreichen und bis dahin einen reibungslosen Betrieb zu sichern, so der Rexroth-Experte.

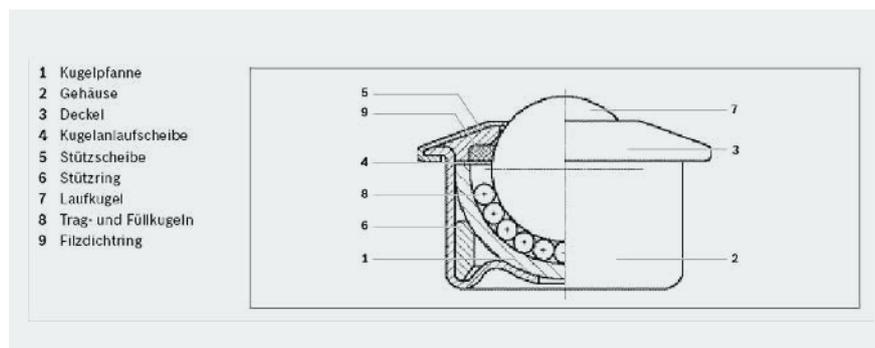
Entsprechend wichtig ist es für den Maschinen- und Anlagenbau, das geeignete Produkt zu finden. Mit diesen fünf Auswahlkriterien erreichen Konstruktionsteams die gewünschte Performance und Lebensdauer und bewahren ihre Kundinnen und Kunden vor unliebsamen Überraschungen und ungeplanten Wartungsmaßnahmen.

## 1 Reibungsarme Bewegungen

Kugelrollen ermöglichen ein einfaches Verschieben, Drehen und Lenken von Objekten. Sie bewähren sich nicht nur in Fördersystemen, Zuführungen, an Bearbeitungsmaschinen oder Verpackungseinrichtungen, sondern auch an manuellen Arbeitsplätzen für Montage, Kommissio-



**Bild 1:** Kugelrollen in der Anwendung. Foto: Bosch Rexroth AG

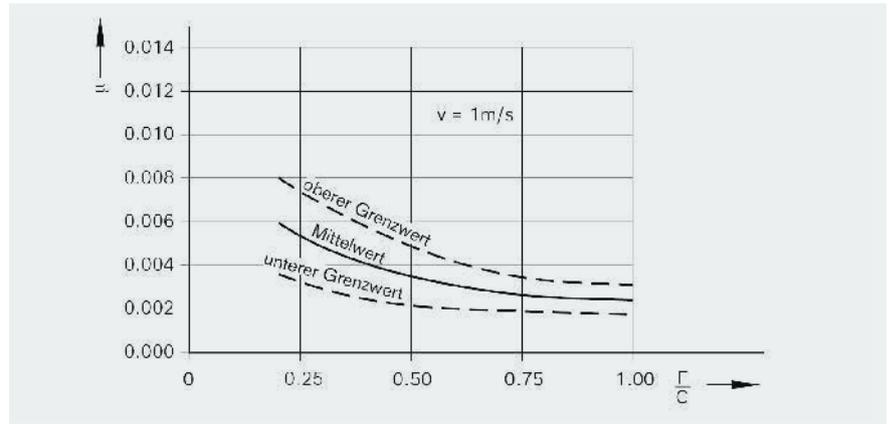


**Bild 2:** Aufbau einer Kugelrolle: Die gehärtete Kugelpfanne dient als Laufbahn für eine Vielzahl kleiner Trag- und Füllkugeln. Bei der Drehung der Laufkugel rollen die Tragkugeln auf der Kugelpfanne ab. Grafik: Bosch Rexroth AG

nieren oder Verpacken. Dort kommt es besonders auf ein leichtes Objekthandling an. Für die Auswahl der richtigen Kugelrolle macht es folglich einen großen Unterschied, ob eine Werkzeugmaschine in der Halle verschoben oder kleine Gegenstände ergonomisch von Hand bewegt werden sollen.

Die in alle Bewegungsrichtungen drehbaren Kugelrollen müssen mehr oder weniger reibungsarm abrollen, wobei die Reibwerte stets von der Belastung und der geforderten Geschwindigkeit abhängig sind. Bei Bosch Rexroth erlauben alle Kugelrollen eine Fördergeschwindigkeit bis 2 m/s. Daher ist die Auswahl mithilfe der durchgängig bereitgestellten Reibwert-Diagramme recht einfach.

Für welche Belastung die Kugelrolle ausgelegt sein muss, hängt vom Fördergut ab. Die dafür relevanten dynamischen und statischen Tragzahlen sollten vom Herstellenden möglichst transparent und verbindlich für jede einzelne Baugröße angegeben sein, auch für besondere Einsatzszenarien wie das Bewegen kratzempfindlicher Waren



**Bild 3:** Reibwertdiagramm: Wie leichtgängig eine Kugelrolle im Einsatz ist, hängt von der Belastung und der Geschwindigkeit ab. Grafik: Bosch Rexroth AG

über spezielle Ausführungen mit Kunststoff-Laufkugeln.

## 2 Lage und Befestigung

Neben der typischen Einbausituation mit der Laufkugel nach oben können Kugelrollen auch überkopf, seitlich oder schräg ausgerichtet sein. Umgesetzt wurde dies laut

Oppelt zum Beispiel bei einem Maschinenbauunternehmen, bei dem eine schwere Welle nachträglich durch zwei Kugelrollen in V-Anordnung gelagert und die zwei verschleißintensiven Teflingleiter ersetzt wurden. „Solch besondere Einbauszenarien sind nicht bei jedem Unternehmen ohne Einschränkung der Belastbarkeit möglich“, so der Rexroth-Experte.

22.–26. APRIL 2024

# LET THE DATA DO THE WORK.

Wie Sie Ihre Produktion mit IIoT effektiv steuern, vernetzen und überwachen? Erfahren Sie auf der HANNOVER MESSE!  
[www.hannovermesse.de/maschinenbau](http://www.hannovermesse.de/maschinenbau)



Darüber hinaus profitieren Anwendende von verschiedenen Befestigungsmöglichkeiten. Grundsätzlich lassen sich Kugelrollen in Bohrungen einpressen, einkleben oder mit einem Toleranzring fixieren. Letzteren bietet das Unternehmen ebenfalls durchgängig für alle Baugrößen an. Darüber hinaus hat das Unternehmen eine besonders montagefreundliche Ausführung mit Kralle im Programm, die sich schnell und einfach ein- und ausbauen lässt.

### 3 Umgebungsbedingungen

Kugelrollen kommen in allen erdenklichen Szenarien zum Einsatz: im Innen- und Außenbereich, im Vakuum oder in ständigem Kontakt mit Staub, Emulsionen und anderen materialbeanspruchenden Stoffen. Als wirksamen Schutz gegen Verschmutzung stattet Bosch Rexroth nahezu alle Ausführungen mit einer ölgetränkten Filzdichtung aus.

Auch die Umgebungstemperatur kann die Funktion der Kugelrolle beeinträchtigen, weil sie die Tragzahl herabsetzt. So zum Beispiel bei Fördertischen am Ein- und Ausgang eines Härteofens. Ein wichtiges Entscheidungskriterium bei der Wahl der Kugelrollen kann daher ein möglichst breites Temperaturspektrum ohne Abschlüge bei der Tragzahl sein. Bei Bosch Rexroth reicht dieser Bereich von  $-30$  bis  $100^\circ\text{C}$ .

### 4 Lebensdauer und Nachhaltigkeit

Wie lässt sich bei der Auswahl von Kugelrollen eine bestmögliche Performance sicherstellen? Neben einer hohen Produktqualität sind dafür verbindliche Herstellerangaben notwendig. Mit konkreten Werten für die Tragzahlen und die Temperatur lassen sich die Lebens- und Servicezyklen verlässlich bestimmen. Ein entsprechend geplanter Austausch senkt die Wartungskosten, sichert die Produktivität und erhöht die Nachhaltigkeit, weil die Kugelrollen mit ihrer maximalen Lebensdauer im Einsatz bleiben können. Im Produktkatalog von Bosch Rexroth finden Anwendende einheitlich für alle Typen und Baugrößen eine einfache Formel zur individuellen Lebensdauerberechnung.

### 5 Standardisierung: Typen- und Größenspektrum

Ob Leichtlast oder Schwerlast, ob Baugröße 8 oder 120, ob mit Federelement oder Kunststoffkugel – Unternehmen im

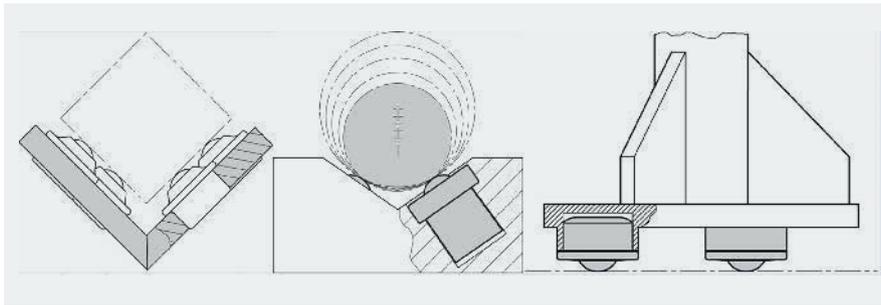


Bild 4: Drei besondere Einbauszenarien für Kugelrollen. Grafik: Bosch Rexroth AG

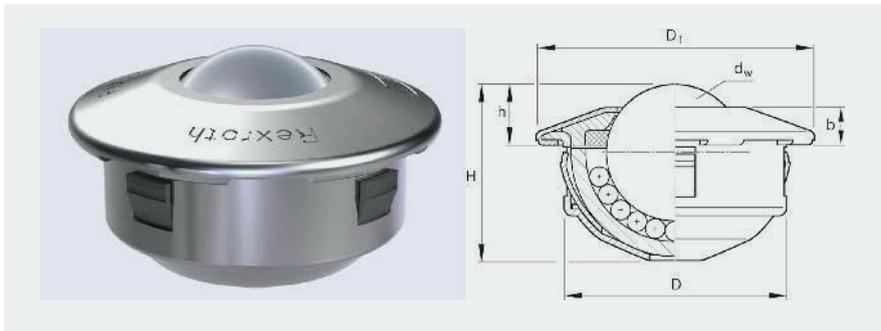


Bild 5: Kugelrollen mit Kralle als Befestigungselement lassen sich schnell ein- und ausbauen. Foto/Grafik: Bosch Rexroth AG

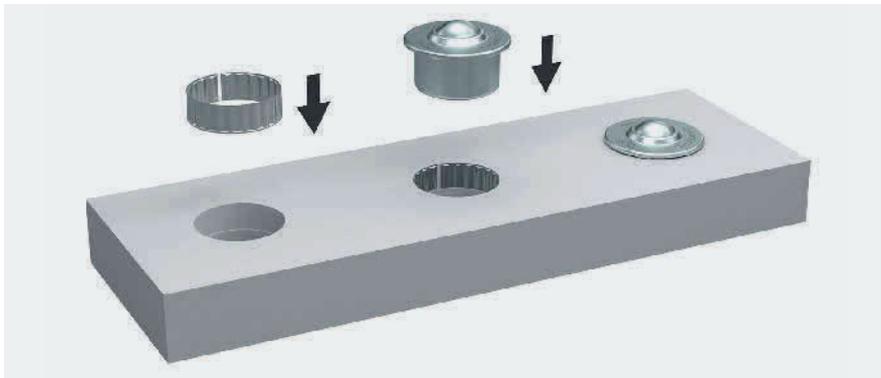


Bild 6: Montage einer Kugelrolle mithilfe eines Toleranzrings. Foto: Bosch Rexroth AG

Maschinen- und Anlagenbau haben meist ein vielfältiges Einsatzspektrum und wissen zu schätzen, wenn sie es einheitlich mit einem Lieferanten abdecken können. „Unser Ziel ist es, in jeder Einbaulage die beste Performance und für jede Anwendung die höchste Tragzahl zu bieten“, erklärt Oppelt mit Blick auf das umfassende Kugelrollen-Portfolio von Bosch Rexroth.

Fazit: Wer Kugelrollen schnell und anwendungsgerecht mit dem optimalen Reibwert ermitteln, potenzielle Funktionseinbußen und Ausfallrisiken vermeiden und sie über den Lebenszyklus möglichst günstig einsetzen möchte, kommt um verlässliche Herstellerdaten nicht herum. Je verbindlicher und eindeutiger die

Angaben, desto besser. Einen guten Überblick bietet der Katalog Kugelrollen und Toleranzringe des Unternehmens, der gleichsam ein Tutorial für grundlegende Fragen wie Anordnung oder Belastungen beinhaltet. Mit solchen praxisnahen und verbindlichen Informationen lassen sich vielfältige Herausforderungen einfach, performant und wartungsarm lösen. ■

#### Kontakt

Bosch Rexroth AG  
97816 Lohr am Main  
Tel. (0 93 52) 18 - 0  
info@boschrexroth.de  
www.boschrexroth.com/de/de/



Das Servoantriebssystem Sinamics S210 verfügt über eine neue Hardware-Architektur sowie eine neue Software-Generation V6. Foto: Siemens

Neue Hard- und Software

# Erweitertes Servoantriebssystem

Das Servoantriebssystem Sinamics 210 ist mit einer neuen Software-Generation ausgestattet worden. Es verfügt auch über neue Funktionen, zum Beispiel einen Einfachpositionierer zur Entlastung der Steuerung und Ether-Net/IP, wodurch Steuerungen von Drittanbietern angebunden werden können. Die Simulation über Drive-Sim Advanced ermöglicht eine virtuelle Inbetriebnahme.

Siemens hat das Servoantriebssystem Sinamics S210 mit einer neuen Hardware-Architektur sowie einer neuen Software-Generation V6 ausgestattet. Dies erweitert die Einsatzmöglichkeiten des Systems, so das Unternehmen. Das Servoantriebssystem eignet sich besonders für Anwendungen mit hoher Dynamik im Leistungsbereich zwischen 50 W bis 7 kW, beispielsweise in Maschinen für Verpackung, Pick & Place-Anwendungen oder im Digitaldruck.

Die neue Generation des Sinamics S210 verfügt über eine zweite Geberschnittstelle und bietet damit die Möglichkeit, ein direktes Messsystem anzuschließen, um mechanische Lose und Toleranzen auszugleichen. Das erhöht die Präzision, wodurch weitere Anwendungen möglich sind. Das System gewährleistet mit den Basic und Extended Safety Integrated Funktionen eine umfangreiche Umsetzung des Sicherheitskonzeptes in der Maschine und erfüllt die Anforderungen von SIL3 (EN 61508) und PL e (EN ISO 13849-1). Eine weitere Neuheit stellen die Security Integrated Funktionen dar, die mit Benutzerverwaltung und Zugriffsschutz für mehr Sicherheit in industriellen Anlagen sorgen.

Ebenfalls neu: Der Sinamics S210 bietet nun zusätzlich zu Profinet IRT eine Kommunikation über EtherNet/IP. Dadurch lassen sich nun auch Steuerungen von Drittanbietern an das Servosystem anbinden, was die Einsatzmöglichkeiten insbesondere im US-Markt erhöht, heißt es. Aufgrund einer neuen 3C3-(H2S und SO2)-Beschichtung ist die neue Generation besonders robust gegenüber aggressiven Umwelteinflüssen wie Schwefelgasen, so Siemens weiter. Damit gewährleistet das Servosystem nun auch eine hohe Anlagenverfügbarkeit und Produktivität unter erschwerten Fertigungsbedingungen, beispielsweise in der Reifenindustrie. Der Einfachpositionierer Epos steht als Funktion nun

auch für den Sinamics S210 zur Verfügung. Mit diesem Modul können hochpräzise Motion Control Positionieraufgaben schnell und einfach im Umrichter umgesetzt werden, weil Positionieraufgaben direkt im Antrieb gerechnet werden können, was Rechenleistung in der Steuerung reduziert, die stattdessen komplexere Aufgaben oder eine größere Anzahl an Antriebsachsen rechnen kann.

Die neue Generation ermöglicht, wie das Unternehmen ausführt, auch eine Simulation von Motion-Control-Anwendungen. Anhand der Simulationssoftware Drive-Sim Advanced kann im TIA Portal nun auch ein digitaler Zwilling des Sinamics S210 erzeugt werden. Mit diesem kann das Antriebssystem bereits vorab virtuell in Betrieb genommen werden und das Engineering erfolgen. Anforderungen an die Prozesse im Antriebsstrang könnten dadurch kostengünstig und effizient sichergestellt werden. Zusätzlich bietet der digitale Zwilling die Möglichkeit, virtuelle Schulungen und Demonstrationen zu erstellen, sowie die Möglichkeit zur Optimierung realer Maschinen durch Beheben von Problemen im Antriebsstrang, welche mit dem digitalen Zwilling simuliert werden. Der integrierte Webserver wurde neu überarbeitet. Der Webserver ermöglicht eine effiziente Inbetriebnahme, schnelle Diagnose und Wartung von verschiedenen Devices wie Tablets oder PC, heißt es weiter. ■

**Kontakt**

Siemens AG  
90475 Nürnberg  
[www.siemens.com](http://www.siemens.com)



Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Anwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.



**Bild 1:** Übersicht über die Produktion in Dingolfing. Alle Roboter werden mit Gleichstrom betrieben. Foto: Lapp

Leitungen für Gleichstromnetze für Industrieroboter bei der Karosseriefertigung

## DC-Lösungen machen Automobilbau effizienter

Energie, Ressourcen und Platz sparen: Das verspricht der Einsatz von Gleichstrom-Leitungen in der Automobilfertigung. Das zeigt ein Pilotprojekt, in dessen Rahmen eine Testanlage im Karosseriebau eines bayerischen Automobilherstellers mit DC-Lösungen ausgestattet worden ist. Beim Karosseriebau entfällt ein großer Teil des Stromverbrauchs auf Maschinen und Roboter, entsprechend hoch sind die Einsparpotentiale, besonders an hochdynamischen Prozessen, beispielsweise bei Industrierobotern. Lapp liefert dafür die Verbindungslösungen.

**D**ie Produktion von Fahrzeugen bleibt in Deutschland weiterhin der dominierende Industriesektor, der zahlreichen Menschen Beschäftigungs-

möglichkeiten bietet und Innovation vorantreibt. Die Fertigungsanlagen nehmen oft eine Pionierrolle bei der Integration von Automatisierungslösungen und anderen fortschrittlichen Techniken ein. Dabei spielen Roboter eine entscheidende Rolle,

indem sie die meisten Arbeitsprozesse übernehmen und höchste Präzision gewährleisten. Dabei brauchen die Anlagen aber auch viel Strom. „In Zukunft wahrscheinlich mehr und mehr Gleichstrom“, sagt Alois Heimler, Strategic Marketing

Manager Intralogistik & Automotive, von Lapp. Davon ist er überzeugt, auch, weil das viele Vorteile für die Effizienz hat, wie er erklärt: „Das Zauberwort heißt weniger Spannungswandlungen.“

In einer Karosseriebau-Anlage im BMW Group Werk Dingolfing offenbaren sich diese Vorteile schon heute. Denn die Anlage wird mit Gleichstrom betrieben – in einem Pilotprojekt, das zeigen soll, dass es im industriellen Umfeld eine Alternative zur herkömmlichen Wechselstrom-Welt gibt. Lapp liefert dafür die Verbindungslösungen.

## Kinetische Energie geht nicht länger verloren

Gerade beim Karosseriebau bietet sich die Umstellung von Wechsel- auf Gleichstrom an. Auf Maschinen und Roboter entfällt bisher ein großer Teil des Stromverbrauchs einer Industrieanlage, dabei bieten sie entsprechend große Einsparpotentiale. Besonders hoch sind die Einsparpotentiale an hochdynamischen Prozessen wie sie etwa bei Industrierobotern vorkommen. Die Fertigungslinien bewegen sich auf programmierten Bahnen, um die einzelnen Bauteile einer Karosserie zu einem Fahrzeug zusammenzufügen. Dabei beschleunigen sie kurzzeitig und bremsen dann wieder ab. Das bedeutet, ein Roboter entnimmt kurzzeitig viel Energie, um einen Bewegungsablauf zu initiieren oder in kinetische Energie zu wandeln. Im Abbremsmoment oder im Senkbetrieb, wird jedoch aus der kinetischen Energie wieder elektrische Energie erzeugt (Der Antrieb befindet sich nun im Generatorbetrieb). Diese kinetische Energie wird in Wechselstromsystemen (AC) in der Regel nicht gespeichert und geht als Wärmeenergie verloren; so wurden bisher Bremswiderstände eingesetzt um die überschüssige Energie zu „verbrennen“. Anders im Gleichstrom (DC)-Netz: „Hier wird die Energie in den DC-Zwischenkreis, also andere DC-Verbraucher oder Energiespeicher gespeist. Somit kann die Energie, die bei Abbremsvorgängen frei wird, ohne große Wandlungsverluste zentral für alle Verbraucher an das Netz zurückgeschickt werden“, erklärt Alois Heimler die Bremsrekuperation. Sie erlaubt demnach den direkten Energieaustausch zwischen allen Antrieben, wie sie etwa in Robotern vorkommen.

Gerade in Zeiten, in denen Nachhaltigkeit zunehmend gefordert und gefördert

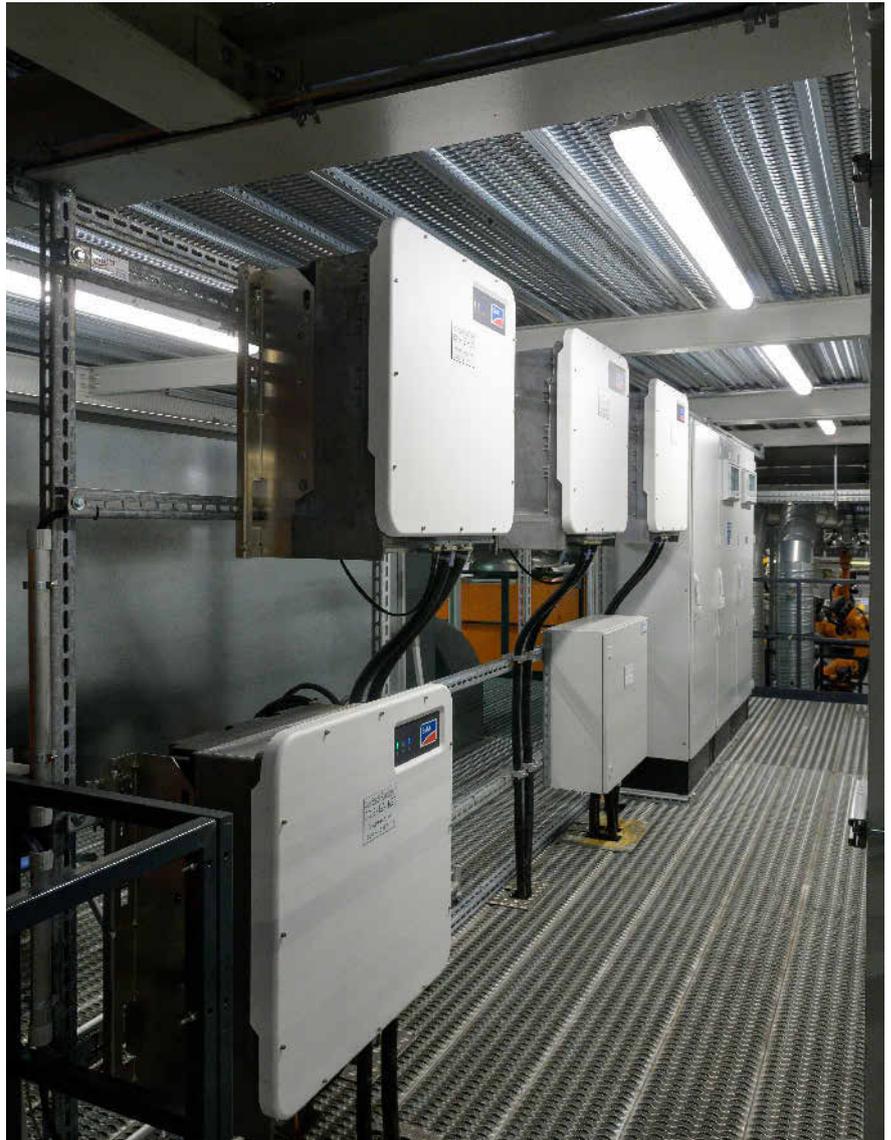


Bild 2: Solar-Wechselrichter im BMW Group Werk in Dingolfing (Bayern). Foto: Lapp

wird, ist die Verwendung der bislang ungenutzten Bremsenergie nützlich, denn so kann eine erhebliche Menge Energie eingespart werden. Und das ist nicht der ein-

zige Vorteil, den ein DC-Netz mit sich bringt: Anstatt vieler dezentraler Wandlungen von AC zu DC gibt es nur noch eine zentrale Energiewandlung, die alle

## DC - INDUSTRIE 2

Sowohl BMW als auch Lapp waren Teil des Forschungsprojekts DC-Industrie2. Das Projekt und die daran Forschenden haben es sich zur Aufgabe gemacht, ein Konzept für ein intelligentes DC-Versorgungssystem zu entwickeln. Getestet wurde unter anderem, ob ein DC-System eine Produktionshalle günstig mit Gleichstrom versorgen kann. Das Projekt fand im März 2023 einen erfolgreichen und planmäßigen Abschluss mit dem Fazit: DC eignet sich für ein nachhaltiges, elektrisches Netz und kann leicht in die Produktion eingebunden werden. Die Erkenntnisse werden in der vom ZVEI gegründeten Arbeitsgemeinschaft Open Direct Current Alliance (ODCA) aufgenommen und weiterentwickelt. Lapp erforschte in dem Projekt die Langzeitstabilität von Isolationsmaterialien für DC-Kabel und Leitungen.

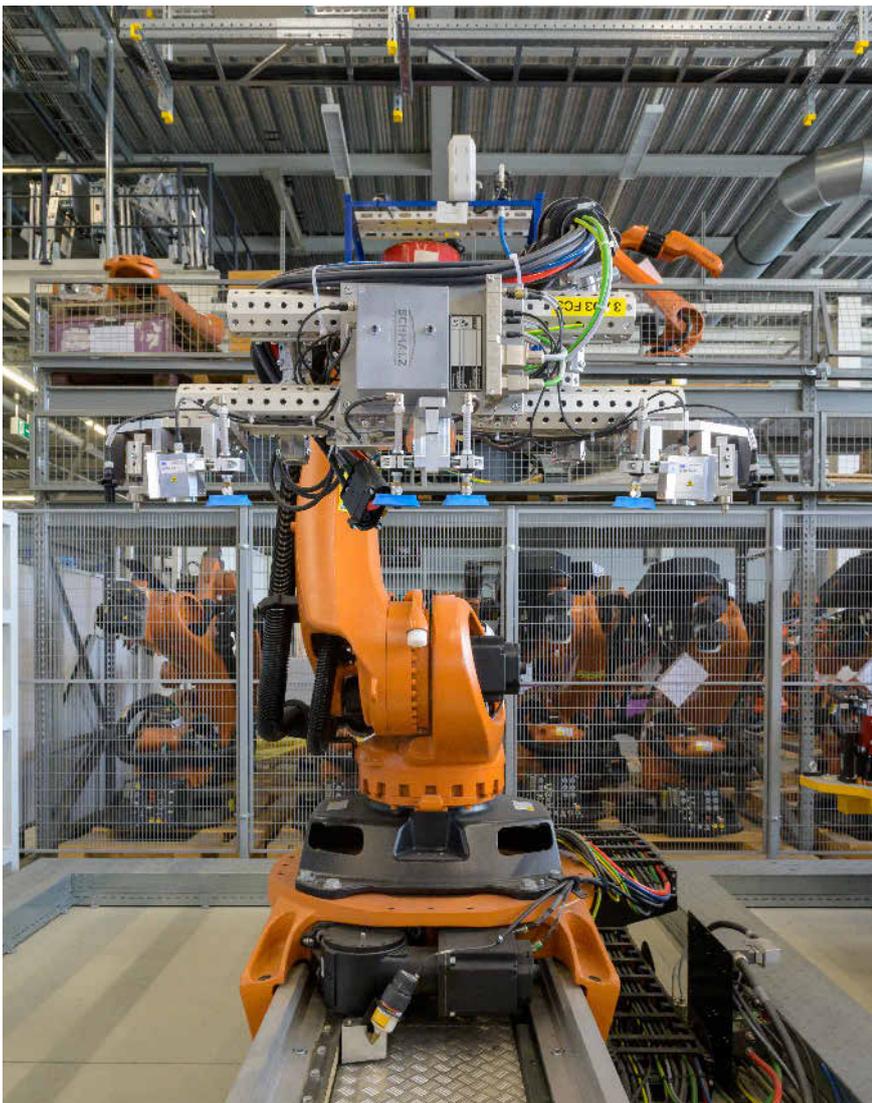


**Bild 3:** Das gesamte Lapp-DC-Portfolio ist bei dem bayerischen Autohersteller im Einsatz. Foto: Lapp

Anlagen mit Gleichstrom versorgt. Bonuspunkt: Stammt der Strom aus regenerativen Quellen, beispielsweise Photovoltaik oder Windkraft, liegt er als Gleichspannung vor, wenn auch die Verbraucher zunehmend auf Gleichstrom ausgelegt sind. „DC ist demnach ein Kernelement für die Energiewende“, so Alois Heimler. Die genauen Einsparungen bei einer Umstellung auf DC variieren je nach Anlage und ihrer Auslastung. Ergebnisse zwischen 15 und 20 % sind jedoch realistisch.

### Grundlage für energieeffiziente DC-Netze

Genau an diesem Nachhaltigkeitsgedanken hat Lapp bereits vor einigen Jahren angesetzt und als erster Hersteller ein Leitungsportfolio für verschiedene Anwendungen im Niederspannungsbereich entwickelt, das auf immer größeres Interesse stößt. Auch in der Karosserieproduktion in Dingolfing kommen die Leitungen zum Einsatz. Darunter die Ölflex DC 100. Mit ihrer maximalen Spannung von 0,75 / 1,5 kV ist sie die ideale Grundlage für energieeffiziente DC-Netze in industriellen Anlagen und macht sie zur ersten Wahl für Automobilhersteller. Ebenso verbaut ist die Ölflex DC Grid 100. Als DC-Starkstromkabel für Gleichstromnetze bietet sie in industriellen Anlagen einen flexiblen, feindrähtigen Aufbau, der selbst in trockenen, feuchten und nassen Umgebungen eingesetzt werden kann. Somit ist sie ideal für Steuerungsan-



**Bild 4:** DC-Testanlage im BMW Group Werk Dingolfing. Sie ist Teil des Projekts DC Industrie2, bei dem Lapp und BMW Mitglieder sind. Foto: Lapp

### ODCA

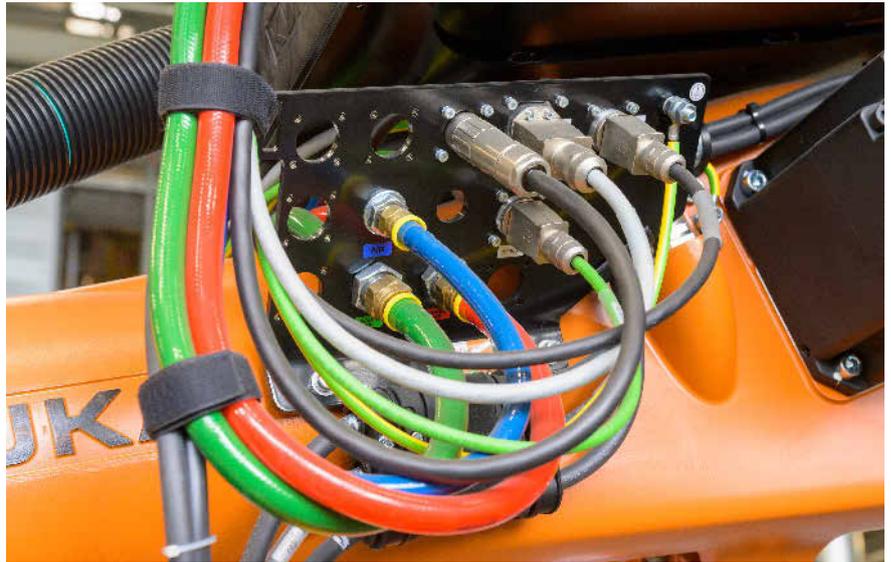
Die Open Direct Current Alliance (ODCA) wurde vom Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) in Kooperation mit Unternehmen aus Industrie, Wissenschaft und Forschung gegründet, um die Entwicklung und Markteinführung von Gleichstromnetzen voranzutreiben. Mit 56 beteiligten Unternehmen (33 beim Start im Jahr 2022), darunter auch Lapp, setzt sich die ODCA für eine ressourcenschonende und CO<sub>2</sub>-neutrale Welt ein. Durch den Einsatz von Gleichstromtechnologie strebt die Allianz eine effizientere Energieübertragung an, um das gesellschaftliche Ziel der Nachhaltigkeit zu unterstützen.

lagen, Motoren und Frequenzumrichter. Im Roboter der Anlage kommt die Ölflex DC Robot zum Einsatz. In der Automobilfertigung sind die Anforderungen an Robotikanwendungen hoch. Das Kabel wurde speziell entwickelt, um diesen extremen Bedingungen standzuhalten. Seine außergewöhnliche Flexibilität ermöglicht es den Robotern, sich präzise zu bewegen, während es gleichzeitig widerstandsfähig gegenüber Rotationen und Biegungen bleibt. Seine kompakte Bauweise spart darüber hinaus wertvollen Platz. Unverzichtbar für die Fertigungslinie sind bewegliche Anwendungen und auch hierfür hat Lapp die passende Lösung. Die Ölflex DC Chain 800 kann in Schleppketten mit langen Verfahrwegen oder hohen Beschleunigungen eingesetzt werden. Ihre besonders kurze Aderverseilung erlaubt kleinste Biegeradien. Ihr Außenmantel aus speziell entworfenem thermoplastischem Polymer ist chemisch beständig und erhöht ölbeständig.

### Kleinere Anzahl an Leitern reduziert Platzbedarf

Alle Leitungen vereint ein weiterer Vorteil gegenüber den bekannten AC-Leitungen: Während für Wechselspannung 5-adrige Leitungen benötigt werden, kommen bei Gleichspannung ein bis zwei Leiter weniger zum Einsatz. Die kleinere Leiteranzahl sorgt dementsprechend für weniger Materialeinsatz. Somit wird für DC-Leitungen weit weniger Kupfer benötigt als für ihre AC-Schwester. Das macht sie darüber hinaus deutlich platzsparender und gerade für Anwendungen mit beengten Platzverhältnissen oder auch in Schaltschränken interessant. Das Material-Einsparpotenzial liegt an dieser Stelle bei etwa 40 %.

Die Karosseriebauanlage im BMW Group Werk Dingolfing ist ein Anwendungspilot, der die DC-Technik derzeit in der Praxis testet. Sie wurde im Rahmen des Projekts DC-Industrie2 initiiert. Das deutsche Forschungsprojekt untersucht die Chancen und Herausforderungen der Gleichstromtechnik in industriellen Produktionsanlagen. Langfristig planen Forschende, ganze Fabrikhallen auf Gleichstrom umzustellen. Die Ergebnisse von DC-Industrie2 sind dafür richtungweisend, um energieeffiziente Lösungen und Standards zu kreieren. Auch Lapp ist Projektpartner. Die Ölflex DC 100, die im Rahmen des Projekts entstanden ist, ist



**Bild 5:** Nahaufnahme Verbindungslösungen der DC-Testanlage. Foto: Lapp



**Alois Heimler**, Business Development Manager Automotive & Strategic Marketing LA EMEA bei Lapp, hat den Aufbau der Serienfertigung und der Testanlage maßgeblich unterstützt. Foto: Lapp

heute als Serienprodukt auf dem Markt. Doch nicht nur das Forschungsprojekt verbindet die beiden Unternehmen, sondern auch eine langjährige Partnerschaft. DC-Leitungen mit besonderen Leitungsquerschnitten wurden von Lapp eigens und in kürzester Zeit für den Automobilhersteller als Prototyp angefertigt.

„Wir glauben daran, dass in Zukunft mehr und mehr Produktionsanlagen mit Gleichspannung versorgt werden“, sagt Alois Heimler. Das Interesse am DC-Portfolio von Lapp wächst, denn es leistet einen wichtigen Beitrag zur Energiewende. Das Familienunternehmen hat deshalb schon lange Gleichstrom eine zentrale Rolle in seiner Zukunftsstrategie zuge-

schrieben: Die globale Forschung und Entwicklung sowie die Steuerung von Labor- und Testzentrumsaktivitäten sind entsprechend neu aufgestellt, so kann das Unternehmen noch schneller und agiler auf die Entwicklungen in der Industrie reagieren. ■

#### Kontakt

U.I. Lapp GmbH  
70565 Stuttgart  
Tel. (07 11) 78 38 – 01  
info.de.ul@lapp.com  
www.lapp.com

Automatisch 700.000 Schachteln pro Woche etikettieren und stapeln

# Flächengreifer optimieren Kommissionierung

Ein Hersteller von elektrischen Verbindungskomponenten setzt auf eine hohe Fertigungstiefe. Deshalb produziert das Unternehmen nicht nur Stecker, sondern auch die Kunststoffkomponenten im Spritzgussverfahren selbst. Um die Mitarbeiter beim Handhaben der Produktgebilde zu entlasten, kommen beim Kommissionieren Flächengreifer zum Einsatz. Sie etikettieren und stapeln automatisch rund 700.000 Schachteln pro Woche.

**P**roduktion just in time. Das spart Lagerflächen und ermöglicht Herstellern, Kundenwünsche individuell umzusetzen. Aber es erfordert auch ein hohes Maß an Flexibilität und Reaktionsgeschwindigkeit. PC Electric (PCE) hat sich dieser Maxime verschrieben und fertigt erst, wenn der Kundenauftrag vorliegt. „Die Kappe des Steckers soll schwarz sein? Dann machen wir das so“, sagt Daniel Lechner, er ist Bereichsleiter Automatisierung bei der PC Electric GmbH.

PCE, seit 1973 werden am Unternehmenshauptsitz im oberösterreichischen St. Martin im Innkreis, mit mehr als 350 Mitarbeitern, elektrische Verbindungskomponenten produziert. Dazu zählen beispielsweise CEE Industrie- und Schutzkontakt-Steckvorrichtungen, Stromverteiler, Kabeltrommeln sowie Wallboxen für die E-Mobilität. Die Artikel werden weltweit in über 100 Länder der Erde erfolgreich vertrieben. Insgesamt beschäftigt die Unternehmensgruppe an fünf Standorten in Europa mehr als 1.000 Menschen.

## Schonender Umgang mit Ressourcen

Eine große Fertigungstiefe und Unabhängigkeit von Lieferketten sind PCE wichtig. Deshalb produziert das Unternehmen nicht nur die Stecker hoch automatisiert, sondern produziert auch die Kunststoffkomponenten im Spritzgussverfahren selbst. Das Granulat-Silo im Hof überragt die Produktionsgebäude um das Doppelte und gibt einen guten Eindruck



Bild 1: Das Handhabungssystem stapelt die Pakete auf dem Laufband. Foto: J. Schmalz GmbH

davon, welche Mengen Kunststoff PCE jeden Monat verarbeitet.

Einen nachhaltigen Umgang mit Mensch, Material und Umwelt hat sich PCE auf die Fahnen geschrieben. Daher setzt der Spezialist für Industriesteckvorrichtungen auf recycelbare Rohstoffe, nutzt Geothermie und Photovoltaik, verzichtet auf Plastikverpackungen und schafft eine ergonomische Arbeitsumgebung.

Ein Ansatzpunkt war beispielsweise die Kommissionierung der Produktgebände. Jede Woche entnehmen die Fachkräfte in der großen, hellen Halle die Artikel aus grauen Kunststoffboxen. Sie verpacken Stecker und Verteiler sowie Kabeltrommeln in rund 2,5 Millionen Pakete in sieben verschiedenen Größen. Bislang mussten sie die Schachteln mit einem maximalen Gewicht von 2,5 kg anschließend manuell etikettieren, stapeln und auf Paletten setzen. Das war auf Dauer nicht nur anstrengend für das Personal, sondern auch ineffizient. „Außerdem kämpfen wir wie viele Betriebe mit dem Fachkräftemangel“, sagt Lechner. Eine automatisierte Lösung musste her.

## Schachteln etikettieren und stapeln

Bei einem Messebesuch entdeckten die Betriebsingenieure von PCE das Flächengreifsystem FXCB mit integrierter Vakuum-Erzeugung von Schmalz. Der Vakuumbreifer ist für die ergonomische Handhabung der Kartonagen wie geschaffen, denn durch die Saugplatte mit High-Performance-Schaum hebt das System auch Produkte mit porösen Oberflächen. Das Besondere: Der Schaum besitzt eine optimale Anpassungsfähigkeit an verschiedene Werkstücke und ermöglicht durch seine schnelle Rückstellung kurze Zykluszeiten. Das hatten die Ingenieure gesucht.

Im Jahr 2020 installierte PCE den ersten FXCB, der an einem Kuka-Roboter arbeitet und mit Druckluft zur Vakuum-Erzeugung versorgt wird. Das System besitzt keine scharfen Ecken und eignet sich perfekt für das Miteinander von Mensch und Maschine. Nachdem eine Fachkraft die Artikel in die Schachtel gepackt hat, schiebt sie diese in die sogenannte Zelle. Dort wird sie automatisch gewogen, zugeklebt und erhält einen „Geprüft“-Sticker. Der Flächengreifer hebt die Box an, hält sie vor das Etikettiergerät, das an der schmalen Seite das richtige Label anklebt. Anschließend legt der Roboter den Karton zurück auf das Laufband, das – sobald vier Schachteln aufeinander stehen –



**Bild 2:** Der Greifer FXCB hält, das Etikettiergerät klebt. Das alles läuft automatisch. Foto: J. Schmalz GmbH



**Bild 3:** Das Greifsystem besitzt ein niedriges Eigengewicht und einen integrierten pneumatischen Vakuumerzeuger. Foto: J. Schmalz GmbH

den Stapel weitertransportiert. „Außerdem sitzen die großen Aufkleber jetzt immer exakt an der gleichen, vorherbestimmten Stelle – das sieht einfach viel ordentlicher aus“, sagt Lechner erfreut. Und noch ein Detail überzeugte PCE: Früher mussten die Beschäftigten die Kartonagen einzeln in größere Versandeinheiten setzen, heute können sie den gesamten Stapel greifen und verpacken.

Auch in puncto Energieeffizienz muss sich das System nicht verstecken. Die integrierte pneumatische Vakuum-Erzeugung sorgt für geringe Betriebskosten. Denn natürlich muss die Anlage nicht nur ergonomisch, sondern auch wirtschaftlich sein und „sich rechnen“.

„Die Handhabungslösung hat unsere Erwartungen so gut erfüllt, dass wir Anfang

dieses Jahres zwei weitere Roboter mit den Flächengreifern FXCB in der Kommissionierung installiert haben“, berichtet der Bereichsleiter. Neben der technischen Leistung zeigt sich Lechner auch über die Zusammenarbeit mit Schmalz sehr zufrieden. „Seit dem Erstkontakt auf der Messe lief der Austausch auf Augenhöhe, unsere Fragen haben die Ansprechpartner immer schnell und umfassend beantwortet. Und die erstklassige Lösung spricht ja ohnehin für sich.“

### Kontakt

J. Schmalz GmbH  
72293 Glatten  
Tel. (0 74 43) 24 03 – 0  
schmalz@schmalz.de  
www.schmalz.com



**Bild 1:** Die MDM plus ist mit dem Mischkopf LC5/3 ausgestattet. Er lässt sich mit rotierenden Einwegmischern aus Kunststoff bestücken. Foto: Tartler

Dosier-Mischanlage ebnet Weg in die maschinelle Mischtechnik

## Verarbeitungsstation für Kunstharze

Eine 2K-Kunstharz-Verarbeitungsstation ist für das präzise Dosieren, Mischen und Applizieren kleiner Mengen flüssiger Polyurethane, Epoxide und Silikone ausgelegt.

Sie kommen zum Gießen, Sprühen und Schäumen ebenso zum Einsatz wie zum Kleben, Beschichten und Laminieren.

TEXT: Michael Stöcker

**D**ie MDM plus ist nach Angaben des Anbieters eine moderne und kompakte Systemlösung für das Dosieren, Mischen und Auftragen kleiner bis mittlerer Kunstharzmengen für alle Kunstharz-Verarbeiter. Sie sei eine attraktive Einstiegslösung für all jene Anwender, die bei der Herstellung und Verarbeitung moderner Kunstharze höhere Anforderungen an die Mischqualität haben, als sie sich im manuellen Vermischen oder mit Systemen ohne Volumenstrom-Regelung erreichen lassen. Konkret kann das zum Beispiel bedeuten: Wer Behälter oder Rohre im Filament Winding (Faserwickeln) anfertigt oder die Vorteile der Pultrusion, des Resin Transfer Moulding (RTM) oder der Vakuuminfusion im Kleinmengen-Maßstab nutzen möchte, dem stellt die MDM plus alle Möglichkeiten dafür bereit. „Durch zahlreiche modulare Erweiterungen wie etwa die Volumenstrom-Regelung von Mischungsver-

hältnis und Ausstoß lassen sich mit dieser kompakten Anlage selbst solche anspruchsvollen Prozesse und Applikationen der Kunstharz-Verarbeitung kostengünstig realisieren“, sagt Geschäftsführer Udo Tartler.

In ihrer Leistungsfähigkeit und ihrer technischen Ausstattung schließt die MDM plus zu den großen Anlagen der bekannten Nodopur-Serie des Unternehmens auf. Von den kleineren Tisch- und Gestellgeräten der Baureihe hebt sie sich hingegen durch ihre höhere Ausstoßleistung bis 6,5 kg/min ab sowie durch die Zuordnung je eines separaten Antriebs für jede Materialkomponente (Harz, Härter). Außerdem verfügt sie über einen 7-Zoll-Touchpanel und lässt sich – wie angedeutet – optional mit einer integrierten Volumenstrom-Regelung aufwerten.

Typisch für die MDM plus ist ihr mobiler Grundaufbau mit Auffangwanne – ein weiteres Merkmal, das lange Zeit nur bei größeren Anlagen des Unternehmens-

Portfolios zu finden war. Hinsichtlich der Prozesstank-Bestückung hat der Betreiber die Wahl zwischen Behältern mit 3,0 bis 60l Fassungsvermögen. Besonders ist zudem, dass die MDM plus über eine Füllstandsanzeige für beide Komponenten verfügt und mit dem Mischkopf LC5/3 ausgerüstet ist. Der vom Unternehmen entwickelte Mischkopf lässt sich, wie es heißt, mit rotierenden Einwegmischern aus Kunststoff bestücken. Damit entfällt die Notwendigkeit zum Einsatz flüssiger Spülmittel.

### Elektrische oder pneumatische Rührwerke möglich

Zum Funktionsumfang der kompakten Dosier-, Misch- und Applikationsstation gehört des Weiteren die Möglichkeit, zwischen elektrischen und pneumatischen Rührwerken für die Komponenten zu wählen und für die B-Komponente einen Silikagelfilter einzusetzen. Ein Vorteil ist

nicht zuletzt auch, dass der Anwender mit der MDM plus kleine Rezirkulationen der Komponenten durchführen kann. „In dieser Prozessstufe wird unvermishtes Material in Dosierpausen aus den Behältern durch die Pumpen und – falls vorhanden – durch den Volumenstromzähler zurück in den Behälter bewegt. Auf diese Weise lässt sich die benötigte Temperatur einhalten und es können ohne Materialverlust Einstellungen an der Station vorgenommen werden. Verhindert wird außerdem, dass sich Füllstoffe durch den Stillstand des Materials im Dosierschlauch absetzen“, erläutert Tartler.

Insgesamt können Kunstharzverarbeiter bei Tartler derzeit aus fünf Kleinmengen-Systemen auswählen, wobei bereits das Einstiegsmodell MDM 3 elektrisch angetriebene Dosierpumpen, Containerports zum Anschluss der Originalgebinde und bei einem Mischungsverhältnis von 100:100 eine Materialausgabe bis 0,7 l/min bietet. Dabei ist stets beachten: Die konkrete Ausgabemenge richtet sich nach den Viskositäten, Mischungsverhältnissen und Schlauchlängen.

## Sprung in die maschinelle Dosier- und Mischtechnik

Den Sprung in die maschinelle Dosier- und Mischtechnik erlaubt die MDM 4, deren Ausgabevolumen sich über verschiedene Pumpen-Konstellationen und je nach Mischungsverhältnis und Viskosität der Komponenten von 0,5 bis 0,8 l/min anpassen lässt. Dabei sind Dosierverhältnisse von 100:10 bis 10:100 realisierbar und mit dem LC 0/2 kommt ein Mischkopf zum Einsatz, dessen Einwegmischer von einem frequenzgeregelten Elektroantrieb in Rotation versetzt wird. Bei den Behältern besteht die Wahl zwischen Gebinden mit Volumen von 0,5 bis 100 l.

Kunstharz-Verarbeitern, die variable Ausstoßmengen von 0,05 bis 1,5 l/min und mehr Funktionalität benötigen, empfiehlt das Unternehmen die MDM 5. Diese Anlage lässt sich stationär oder mobil nutzen und bietet die Möglichkeit, flüssige PU- und Epoxidharze zu gießen, sprühen oder schäumen. Sie kann mit verschiedenen Mischköpfen ausgestattet und mit unterschiedlichen Gebinden, Rührwerken und Heizungen für Behälter, Schläuche und Mischkopf bestückt werden. Ihre Siemens-Steuerung bietet unter anderem einen Topfzeitalarm und eine Schusszeit-Vorwahl. Ebenfalls zum Gie-



**Bild 2:** Die MDM plus ist eine kompakte Systemlösung für Verarbeiter kleiner und mittlerer Kunstharzmengen. Foto: Tartler

ßen, Sprühen und Schäumen verwenden lässt sich die MDM 6 von Tartler, die für Ausstöße bis 3,5 l/min ausgelegt ist. Ihre Steuerung erlaubt es, auch große Rezirkulationen der Komponenten auszuführen. Dabei fließt das Material zusätzlich durch Mischkopf und Maschine und ist in Sekundenschnelle schussbereit. Diese Station kann mit Behältern mit Volumen von 3,0 bis 100 l betrieben werden.

## Kundenspezifische Anpassung ist möglich

Auf der Grundlage des Modularitäts-Programms von Tartler lässt sich jede MDM-Anlage über die Auswahl verschiedener Komponenten kundenspezifisch an-

passen – beispielsweise mit Fahrgestellen, Nachfüllkits sowie Beheizungs- und Entgasungssystemen. „Außerdem begleiten wir unsere Kunden bei jedem Schritt auf die nächste Stufe der maschinellen und automatisierten Kunstharz-Verarbeitung“, sagt Tartler. ■

### Kontakt

Michael Stöcker ist freier Fachjournalist, Darmstadt  
Tartler GmbH  
64720 Michelstadt  
Tel. (0 60 61) 96 72 - 0  
u.tartler@tartler.com  
www.tartler.com

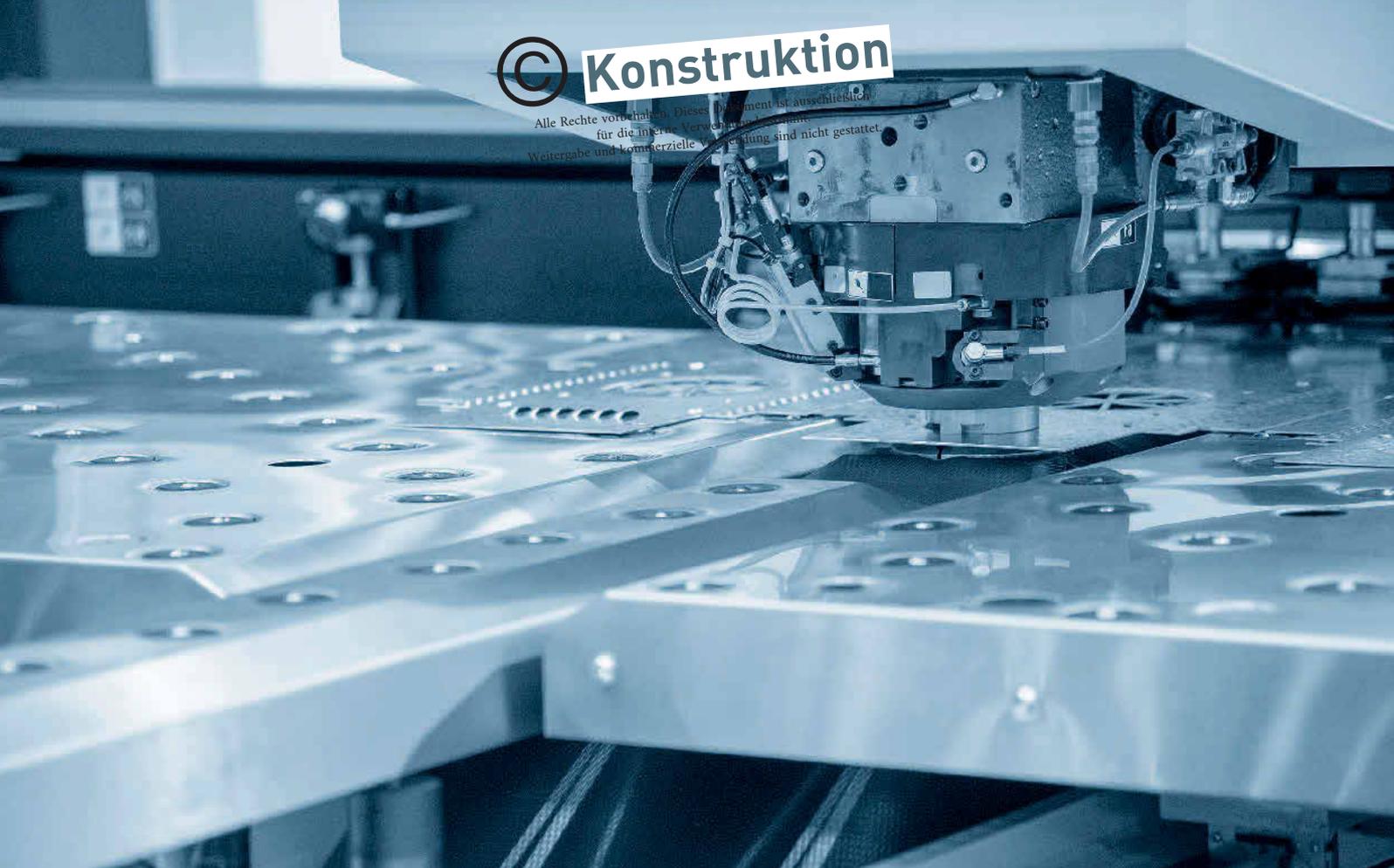


Bild 1: Klassische Metallpresse, bei der das Energiemanagementsystem helfen kann, Energie zu sparen. Foto: Moog

## Mehr Energieeffizienz bei Metallbearbeitungsmaschinen

# Energie bei Pressen zurückgewinnen

Bei einer Hochgeschwindigkeitspresse wird die Energie aus der Dekompression des Pressvorgangs zurückgewonnen. Eine elektrohydraulische Pumpeneinheit, die über Servoantriebe gesteuert wird, ersetzt die bisherige Hydraulikpumpe in der Maschine. Ein abgestimmtes Energiemanagementsystem lädt während der Maschinenzyklen die Energiespeichermodule. Diese Speichermodule übernehmen den eigentlichen Energieaustausch und federn Lastspitzen ab.

**M**oog hat gemeinsam mit einem Hersteller von Metallbearbeitungspressen die erste elektrohydrostatische Hochgeschwindigkeitspresse entwickelt, die Energie aus der Dekompression des Pressvorgangs zurückgewinnt. Die innovative Technik regelt den

Energieverbrauch über ein Moog DE2020 Energiemanagementsystem, um die aus dem Netz entnommene Leistung auf einem konstanten Standardlastniveau zu halten.

Ursprünglich hatte der Maschinenhersteller für seine Metallpresse eine Hydraulikpumpe mit variabler Geschwindigkeit und Servoantrieben verwendet, wobei jeder Zyklus zwei Lastspitzen (= Energiespitzen für

die Beschleunigung und Verzögerung der Bewegung) aufwies. Die Bediener legen pro Zyklus Metall in die Maschine ein, um das Werkstück zu pressen, zu stabilisieren und zu entnehmen. Während einige Hersteller zumindest Bremsenergie zurückgewinnen und wiederverwenden, hat sich der Pressenhersteller an Moog gewandt, um die maximal mögliche Energie aus dem Pressvorgang

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

zurückzugewinnen und somit neue Standards in Sachen Energieeffizienz zu setzen.

Bei der Entwicklung der neuen elektrohydraulischen Hochgeschwindigkeitspresse ersetzte der Maschinenhersteller die Hydraulikpumpen des Vorgängermodells durch die sehr effiziente elektrohydrostatische Pumpeneinheit (EPU) von Moog, die über Servoantriebe gesteuert wird. Das Energiemanagementsystem DE2020 regelt dabei die Energiezufuhr. Vor der ersten Inbetriebnahme und während der Maschinenzyklen lädt das DE2020 die Energiespeichermodule mit einem optimierten Stromniveau und versorgt die Maschine mit Leistung.

## Speichermodule für den Energieaustausch

Die Speichermodule wurden so entwickelt, dass sie den eigentlichen Energieaustausch übernehmen, Lastspitzen abfedern und sich Energieverluste lediglich auf die Mechanik der Maschine beschränken. Anstelle des Stromnetzes erzeugen die Module nun die Energiespitzen, um den Druck in der Maschine aufzubauen und die Bewegung innerhalb des Zyklus zu leisten. Durch Rekuperation werden die Module wieder aufgeladen, wenn die Maschine abbremsst und druckentlastet wird.

„Der DE2020 liefert nur die Energie, die unbedingt notwendig ist, damit die Maschine die geforderte Arbeit verrichten kann, wobei sich dieser Energieverbrauch letztlich nicht vermeiden lässt“, so Franco Talpone, Senior Application Engineer bei Moog. „Das bedeutet, dass aus dem Stromnetz gleichmäßig Energie entnommen wird, also eine konstante Last ohne Spitzen. Daher muss der Stromanschluss nicht mehr für eine Spitzenlast ausgelegt sein, wie es früher der Fall war.“

„Mit dieser Technologie konnte Moog – ganz ohne Qualitätseinbußen – den Energieverbrauch der Antriebssysteme um rund 50 Prozent zur Vorgängerpresse senken, ein wirklich großer Fortschritt“, so Talpone weiter.

Aufgrund des neuen Konzeptes von Moog profitiert der Betreiber der neuen Presse von einer besseren Auslastung. Die Lösung ermöglicht außerdem deutliche Kosteneinsparungen, die die Investition in relativ kurzer Zeit amortisieren. Mit der von Moog ausgestatteten Energiemanagementlösung benötigt die neue Pressengeneration des Herstellers im Durchschnitt nur 20% der Energie einer konventionel-



**Bild 2:** Elektrohydrostatische Pumpeneinheit von Moog.  
Foto: Moog



**Bild 3:** Das Energiemanagementmodul DE2020 regelt die Energieversorgung. Foto: Moog

len Presse. Darüber hinaus, zum Beispiel bei gegebenen Anschlusswerten, können nun mehrere elektrohydrostatische Hochgeschwindigkeitsmaschinen über dasselbe Stromnetz betrieben werden, weil keine Energiespitzen abzudecken sind.

### Energiespeichermodule auf Kondensatorbasis

Bei der Entwicklung der neuen Metallbearbeitungsmaschine setzten die Moog Ingenieure elektrohydrostatische Pumpeneinheiten (EPU), Servoantriebe, das Energiemanagementsystem DE2020, die Zwischenkreisdrossel DF2020 und hoch-effiziente Energiespeichermodule auf Kondensatorbasis (ESU-C) ein. Mit dieser modularen Plug-and-Play-Lösung wird maximale Effizienz erreicht, der Leistungsverlust auf das unvermeidbare Minimum reduziert und der Platzbedarf für die Versorgungselektronik verringert.

Um derartige technische Fortschritte und signifikante Einsparungen zu realisieren, ist die Beziehung zum Kunden wichtig. „Bei Moog pflegen wir enge Kundenbeziehungen, wodurch wir unsere Lösungen an die sehr spezifischen Anforderungen jeder

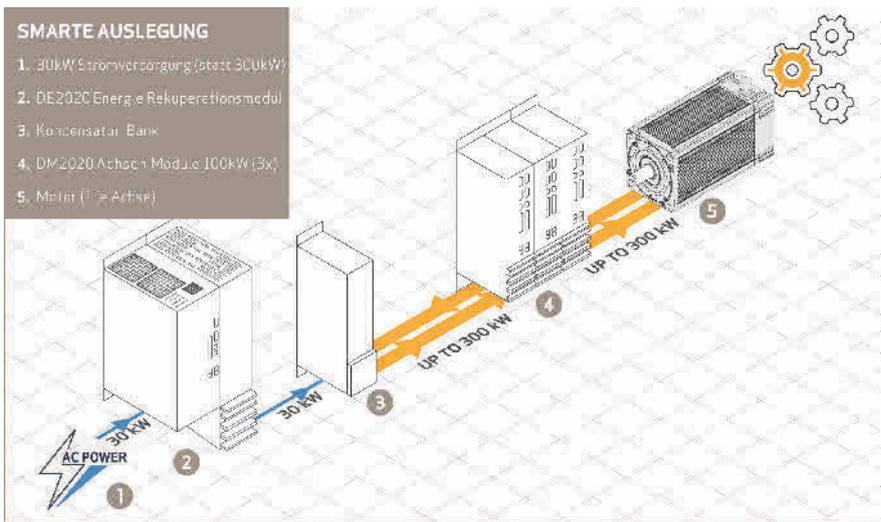


Bild 4: Infografik zur Hauptphase der Rekuperation des Energiemanagementsystem. Grafik: Moog

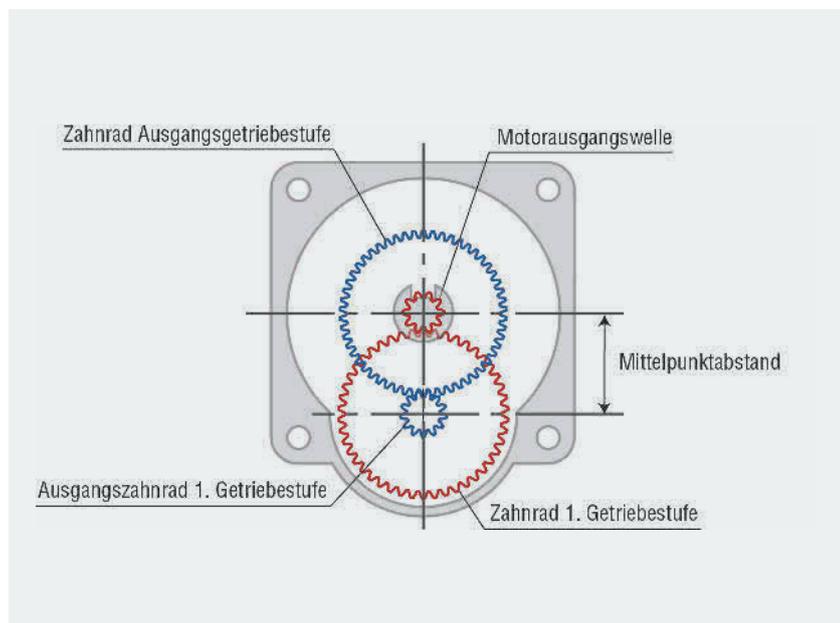
Anwendung anpassen können“, erklärt Talpone und fasst zusammen, dass sich die mit dieser Lösung erzielten Energieeinsparungen und verringerten Spitzenlasten problemlos auf elektromechanische Pressen und andere Maschinen mit elektrohydraulischer oder sogar klassischer Hydraulik übertragen lassen. Insofern sollten sich Maschinenentwickler und Konstrukteure an

das Moog Vertriebs- und Anwendungsteam wenden, um professionelle Unterstützung für ihr Projekt zu erhalten.

**Kontakt**

Moog GmbH, 71034 Böblingen  
 Tel. (0 70 31) 622 – 0  
 info.germany@moog.com  
 www.moog.de

# Vorschau 04/2024



Aufbau der konzentrischen Struktur des neuen CS-Getriebes von Oriental Motor. Foto: Oriental Motor (Europa) GmbH

### Antriebstechnik

Oriental Motor hat ein Getriebe mit hohem Drehmoment und hoher Radiallast entwickelt. Das höhere Drehmoment und noch bessere Vibrationsverhalten der PKP-Schrittmotoren wurde vor allem durch eine Verringerung des Luftspalts erreicht, der sich zwischen den Zähnen des Stators und des Rotors befindet.

### Getriebe

In Bietigheim-Bissingen wird die Kraft der Enz genutzt, um CO2-neutralen Strom zu gewinnen. In der denkmalgeschützten Rommelmühle erzeugen drei Turbinen circa 1,5 Mio. kWh Strom pro Jahr. Um die Verfügbarkeit und Effizienz der Anlage dauerhaft sicherzustellen, wurden die in die Jahre gekommenen Turbinengetriebe ausgetauscht.

# Fachteil

# Ingenieur-Werkstoffe



**Covestro entwickelt ein Verfahren**, mit dem die wichtige Chemikalie Anilin erstmals komplett auf Basis pflanzlicher Biomasse statt Erdöl produziert werden kann. Dazu hat der Kunststoffhersteller jetzt am Standort Leverkusen eine spezielle Pilotanlage in Betrieb genommen.  
*Foto: Covestro*

## KUNSTSTOFFE

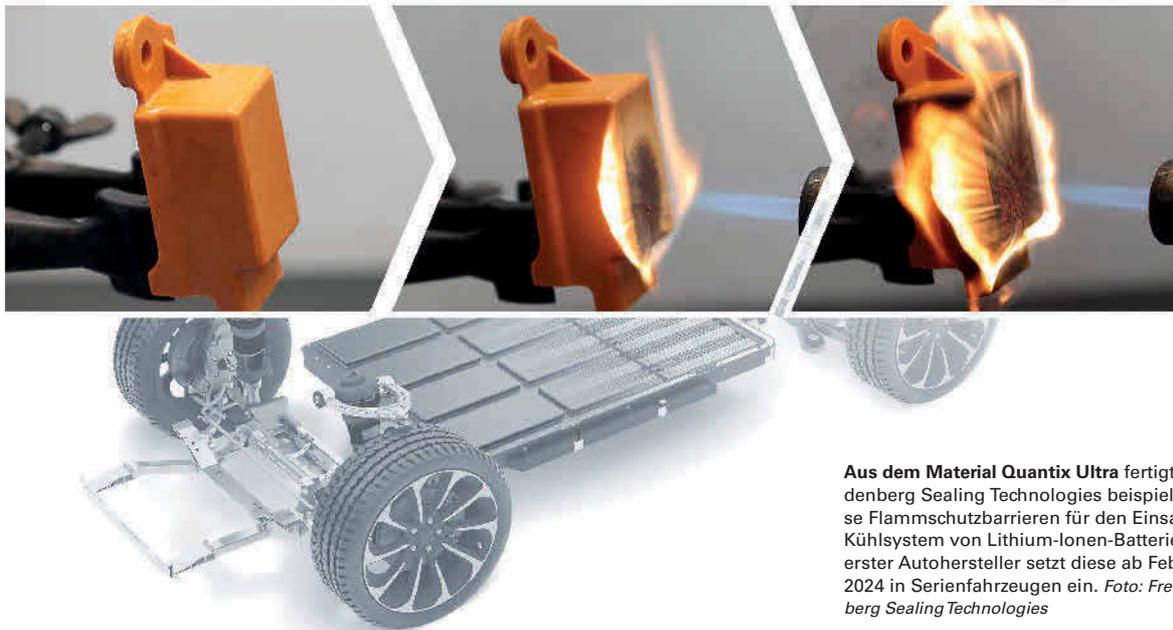
Neue Materialklasse hält auch, wenn es richtig heiß wird

## METAMATERIALTECHNOLOGIE

So werden Fahrzeuge spürbar leichter und leiser

## KLEBSTOFF

Eiskalte Trennung von geklebten Stahlverbindungen



Aus dem Material Quantix Ultra fertigt Freudenberg Sealing Technologies beispielsweise Flammenschutzbarrieren für den Einsatz im Kühlsystem von Lithium-Ionen-Batterien. Ein erster Autohersteller setzt diese ab Februar 2024 in Serienfahrzeugen ein. Foto: Freudenberg Sealing Technologies

Freudenberg Sealing Technologies entwickelt hoch temperaturbeständige Kunststoffe für Elektroautos

## Hält auch, wenn es richtig heiß wird

Mit einer neuen Materialklasse trägt Freudenberg Sealing Technologies dazu bei, den Brandschutz in elektrischen Fahrzeugantrieben zu verbessern. Sie heißt „Quantix Ultra“ und schmilzt auch bei sehr hohen Temperaturen von bis zu 1200 Grad Celsius nicht.

Im Spritzguss ist das Material vielseitig und wirtschaftlich zu verarbeiten. Angesichts der Leichtbauprämisse für heutige Fahrzeuge ist die geringere Dichte im Vergleich zu metallischen Werkstoffen ein zusätzlicher Pluspunkt. Nun erfolgt der erste Serieneinsatz als Flammschutzbarriere für Teile des Kühlsystems in der Lithium-Ionen-Batterie eines Elektroautos.

**E**lektroautos mit Lithium-Ionen-Akkus bieten inzwischen alltagstaugliche Reichweiten, benötigen aber auch ein hohes Maß an Sicherheit. Um dies zu gewährleisten werden verschiedene Maßnahmen ergriffen, um das thermische Durchgehen der Batterie zu verhindern oder zu verzögern. Kunststoffbauteile in dieser Anwendung haben bislang die strengen Testnormen der Automobilindustrie für elektrische Antriebe in der Regel nicht erfüllt. Dies will Freudenberg Sealing Technologies mit Quantix Ultra ändern :

Die neue Materialklasse kann sehr hohen Temperaturen widerstehen. Sie schmilzt und entflammt nicht. In Labortests übersteht eine zwei Millimeter dicke Materialprobe sogar über 25 Minuten lang eine aufgebraute Flamme mit einer Temperatur von 1200 Grad Celsius.

Weitere Tests simulieren den Ausstoß heißer Partikel unter hohem Druck, wie er auftreten kann, wenn sich die Gase in Batteriezellen schlagartig entladen. Quantix Ultra widersteht dem Stresstest 20 Sekunden. Eine zwei Millimeter dicke Aluminiumprobe ist bereits nach zwei bis drei Sekunden zerstört.

Aus dem innovativen Material fertigt Freudenberg Sealing Technologies beispielsweise Flammschutzbarrieren für den Einsatz im Kühlsystem von Lithium-Ionen-Batterien. Ein erster Autohersteller setzt diese ab Februar 2024 in Serienfahrzeugen ein.

Quantix Ultra eignet sich für sämtliche Anwendungen mit hohen Anforderungen an Brandschutz und Leichtbau. Auch ist die Anwendung nicht auf bestimmte geometrische Formen beschränkt. Für batterieelektrische Antriebe lässt sich das Material beispielsweise



## MEHR SICHERHEIT FÜR LITHIUM-IONEN-BATTERIEN

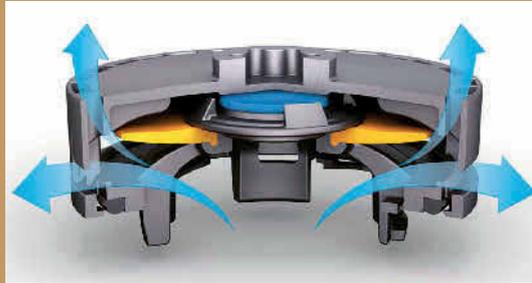
E-Autos erreichen dank leistungsfähiger Batterien immer größere Reichweiten. Dafür ordnen die Hersteller die Batteriezellen immer enger an. Das führt zu einer höheren Energiedichte in den Batteriegehäusen, die selbst immer leichter, dünnwandiger und druckempfindlicher sind.

Die sensiblen Gehäuse benötigen Systeme, die in zwei Szenarien den Druck-

ausgleich zuverlässig übernehmen. Zum einen im Regelbetrieb, etwa beim Befahren von Passstraßen. Zum anderen im Notfall, wenn sich bildende Gase zügig abzuführen sind, wie beim thermischen Durchgehen einer Zelle, dem sogenannten „Thermal Runaway“.

Für jedes Szenario gab es eine separate Lösung im Batteriegehäuse. Beide hatten jedoch ihre Schwächen. Im Normalbetrieb regelt eine poröse PTFE-Folie den Druckausgleich. Sie ist aber empfindlich gegenüber mechanischen Einflüssen. Zudem können Partikel und flüssige Medien die Folie kontaminieren, was die Luftdurchlässigkeit und damit das „Atmen“ der Batterie beeinträchtigt. Die Notentgasung der Batterie erfolgt über eine Berstscheibe im Gehäuse, die bei extremen Druckverhältnissen automatisch birst. Das Gehäuse bleibt dann aber geöffnet, wodurch sich ein brennbares Gas-Luft-Gemisch bilden kann.

DIaVent Highflow von Freudenberg Sealing Technologies übernimmt beide Funktionen und lässt sich so modifizieren, dass es an jedem Batteriegehäuse anzubringen ist. Bei normaler Fahrt regulieren atmungsaktive Vliesschichten im Schirmventil den Luft- und Druckaustausch. Zudem halten sie Wasser und Schmutz fern. Bei einem Notfall oder Unfall erlaubt eine Dichtlippe den Austritt großer Gasvolumen. Ihr spezielles Silikon-Elastomer reagiert präzise auf zuvor festgelegte Druckdifferenzen. Ist das Gas entwichen, federt die elastische Dichtlippe zurück und verschließt das Gehäuse wieder. Auch kurzfristige Druckspitzen lassen sich so abfedern.



Mit DIaVent hat Freudenberg Sealing Technologies ein Element auf den Markt gebracht, das den Druckausgleich und die Notfallentgasung von Batteriegehäusen in Elektrofahrzeugen gewährleistet. Foto: Freudenberg Sealing Technologies

zu Folien verarbeiten. Weitere Anwendungen sind Einhausungen für Stromverteiler, medienführende Leitungen, Kabelisolation, Batterie-Gehäusedeckel oder Bauteile für Elektromotoren.

### Flammschutz bei höchsten Temperaturen

Temperaturbeständigkeit ist für technische Kunststoffe ein wichtiges Differenzierungsmerkmal. Dies gilt sowohl für amorphe als auch für teilkristalline Werkstoffe. Allen derzeit eingesetzten Polymeren ist jedoch eins gemeinsam: Die Steifigkeit lässt nach Erreichen des sogenannten Glasübergangspunkts spürbar nach und bricht mit dem Überschreiten des Schmelzpunkts schlagartig ein. Ein Flammschutz ist dann nicht mehr gegeben.

Dies ist bei Quantix Ultra nach Angaben des Herstellers anders: „Das neue Material schmilzt nicht bei hohen Temperaturen und weist stattdessen ein elastisches Verhalten auf, das mit Elastomeren vergleichbar ist“, erläutert Kira Truxius, Material Expert Thermoplastics bei Freudenberg Sealing Technologies. „Zudem hat es eine um 53 Kelvin höhere Glasübergangstemperatur und erhält somit seine Steifigkeit und den Flammschutz über einen erheblich längeren Zeitraum. Summiert man die Eigenschaften, so setzt sich Quantix Ultra an die Spitze aller derzeit bekannten Kunststoffe.“

### Know-how für fokussierte Materialeigenschaften

Das Grundmaterial von Quantix ULTRA ist ein bereits temperaturfester Thermo-

plast. Die gezielte Zugabe von Füllstoffen wie Glas- oder Kohlenstofffasern verstärkt die mechanische Stabilität selbst unter enormer Hitze. Eine zusätzliche Vernetzung der Kunststoff-Molekülketten sorgt dafür, dass das Bauteil auch unter Extrembedingungen in Form bleibt. Materialeigenschaften lassen sich fokussiert auf den jeweiligen Anwendungsfall einstellen. „Unser patentiertes Know-how besteht in der gezielten Zugabe geeigneter Materialien, die Brücken zwischen den Molekülketten erzeugen. Die Patente sind ein Ergebnis gelungener Teamarbeit“, erläutert Dr. Björn Hellbach, Material Expert Thermoplastics bei Freudenberg Sealing Technologies.

„Das neue Material schmilzt nicht bei hohen Temperaturen und weist stattdessen ein elastisches Verhalten auf, das mit Elastomeren vergleichbar ist.“

### Wirtschaftliche Produktion in großen Stückzahlen

Quantix Ultra lässt sich einfach per Spritzguss verarbeiten. Die damit verbundenen Vorteile - wie etwa das Fertigen komplexer Geometrien bei kurzen Zykluszeiten und damit in großen Stückzahlen - teilt es mit anderen Thermoplasten. Zur wirtschaftlichen Fertigung trägt auch das patentierte Vernetzungsverfahren bei. Es basiert allein auf dem Einbringen eines speziellen Vernetzers ins Material unter Beibehaltung des Standard-Spritzgussprozesses. Andere bekannte Verfahren sind deutlich aufwendiger. Sie arbeiten mit Gammastrahlung oder in Lösungen. ■

#### Kontakt

Freudenberg FST GmbH  
Höhnerweg 2 – 4  
D-69469 Weinheim/Bergstraße  
www.fst.com

Die erste Pilotanlage für biobasiertes Anilin wurde jetzt von Covestro in Leverkusen eröffnet. Foto: Covestro

Einweihungsfeier fand mit mit Gästen aus Politik und Wissenschaft statt

# Weltweit erste Pilotanlage für biobasiertes Anilin eröffnet

Covestro will die wichtige Chemikalie Anilin erstmals komplett auf Basis pflanzlicher Biomasse statt Erdöl produzieren. Dazu hat der Kunststoffhersteller jetzt am Standort Leverkusen eine spezielle Pilotanlage in Betrieb genommen. Dort werden erstmals größere Mengen biobasierten Anilins hergestellt, damit die neue Technologie weiterentwickelt und in den industriellen Maßstab übertragen werden kann. Anilin wird in der Kunststoffindustrie unter anderem zur Herstellung von MDI verwendet. Das wiederum wird beispielsweise für Dämmschaum genutzt, der in Gebäuden für Energieeinsparungen und einen geringeren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck sorgt.

**A**n der Einweihungsfeier nahmen auch Nordrhein-Westfalens stellvertretende Ministerpräsidentin Mona Neubaur sowie Professor Walter Leitner teil, geschäftsführender Direktor am Max-Planck-Institut für chemische Energiekonversion in Mülheim an der Ruhr. Gemeinsam mit Dr. Thorsten Dreier, Technologievorstand von Covestro, sprachen sie über die Bedeutung biobasierter Rohstoffe für eine nachhaltige Chemie der Zukunft.

„Anilin ist unter anderem ein zentraler Ausgangsstoff für Schaumstoffe zur Dämmung von Gebäuden und Kühlgeräten“, erläuterte Dreier die Bedeutung der Grundchemikalie. „Bislang

wird das Anilin aus fossilen Rohstoffen wie Erdöl produziert. Mit unserem neuen Verfahren tragen wir zum Aufbau einer zirkulären Wirtschaft mit geringerem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck bei, und ich bin sehr stolz, dass uns jetzt der Sprung auf die nächste technologische Ebene gelungen ist.“

## CO<sub>2</sub>-Fußabdruck deutlich verbessert

Covestro hat das bereits mehrfach prämierte neue Verfahren gemeinsam mit wissenschaftlichen Partnern entwickelt. Es führt im Vergleich zur konventionellen Technik zu einem deutlich verbesserten CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des Anilins. In die Pilotanlage im



Chempark Leverkusen hat Covestro einen einstelligen Millionenbetrag investiert.

„Nachhaltige Innovationen aus Nordrhein-Westfalen leisten einen entscheidenden Beitrag für die Transformation des Chemiestandorts Deutschland. Die weltweit erste Pilotanlage für biobasiertes Anilin ist dafür ein eindrucksvolles Beispiel“, betonte Neubaur, die auch Landesministerin für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie ist. „Damit die Branche den eingeschlagenen Weg hin zur Kreislaufwirtschaft und Klimaneutralität fortsetzen kann, braucht es vor allem Planungs- und Investitionssicherheit. Wir als Landesregierung arbeiten deshalb mit aller Kraft daran, dass Nordrhein-Westfalen attraktiver Wirtschaftsstandort bleibt und erste klimaneutrale Industrieregion in Europa wird.“

Auch Professor Leitner hob die Bedeutung von Partnerschaften hervor. „Das Projekt ist Ausdruck der Zusammenarbeit von forschungsbasierter Industrie und exzellenter Grundlagenforschung. Besonders in NRW gibt es viele solcher Schnittstellen. Davon brauchen wir mehr in Deutschland, um uns als Forschungs- und Technologiestandort zu behaupten.“

## Einsatz von Biotechnologie

Das Projekt macht auch deutlich, welchen Beitrag die industrielle („weiße“) Biotechnologie in der Kunststoffproduktion leisten kann: In dem neuen Verfahren hilft ein maßgeschneiderter Mikroorganismus dabei, einen aus Pflanzen gewonnenen indus-

triellen Zucker durch Fermentation in ein Zwischenprodukt umzuwandeln. Dies geschieht unter milderen und damit umweltverträglicheren Bedingungen als in herkömmlichen Verfahren. In einem zweiten Schritt entsteht dann aus dem Zwischenprodukt durch chemische Katalyse das Anilin mit hundert Prozent pflanzlichem Kohlenstoff.

„Bislang wird das Anilin aus fossilen Rohstoffen wie Erdöl produziert. Mit unserem neuen Verfahren tragen wir zum Aufbau einer zirkulären Wirtschaft mit geringerem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck bei, und ich bin sehr stolz, dass uns jetzt der Sprung auf die nächste technologische Ebene geglückt ist.“

Die Forschung an biobasiertem Anilin wird auch weiterhin von der deutschen Regierung unterstützt. Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft fördert ein Folgeprojekt (Bio4PURDemo) von Covestro und Partnern, das im März 2022 gestartet ist und bis 2025 läuft.

An dem Vorhaben sind außerdem die RWTH Aachen mit dem CAT Catalytic Center, die Universität Stuttgart und die dort angesiedelte Technologietransfer-Initiative beteiligt.

Derzeit werden weltweit rund sechs Millionen Tonnen

Anilin produziert, wobei das Volumen im Schnitt um etwa drei bis fünf Prozent jährlich wächst. Covestro zählt mit einer Produktionskapazität von mehr als einer Million Tonnen pro Jahr nach eigenen Angaben zu den führenden Anilin-Herstellern. ■

## Kontakt

Covestro AG  
Kaiser-Wilhelm-Allee 60  
51373 Leverkusen  
[www.covestro.com](http://www.covestro.com)

## KOOPERATION FÜR NACHHALTIGKEIT VON KLEBSTOFFEN

Die deutschen Chemieunternehmen Henkel und Covestro bündeln ihre Kräfte, um die Nachhaltigkeit von Klebstoffen im tragenden Holzbau zu fördern. Solche Elemente, wie Brettsperrholz (Cross Laminated Timber, CLT) oder Brettschichtholz (Glued Laminated Timber, GLT), finden sich in einer Vielzahl von Innen- und Außenanwendungen von Gebäuden, von Treppen über Fassaden bis hin zu tragenden Bauteilen. Zu diesem Zweck stellt Covestro Henkel Polyurethan-basierte Werkstoffe zur Verfügung. Diese basieren auf bio-attribuierten Rohstoffen, die mithilfe von Massenbilanzierung zugewiesen werden. Henkel nutzt diese dann für Hochleistungsklebstofflösungen.

Klebstoffe tragen ihren Teil zur Verwendung von Holz im Bausektor bei – und machen Gebäude so nachhaltiger. Da es sich bei Holz um ein natürliches Material handelt, unterliegen seine Eigenschaften ebenso natürlich größeren Schwankungen als die meisten synthetisch hergestellten Materialien. Es ist zum Beispiel anfällig für Verformungen, was Ästhetik und Funktionalität und somit den Einsatz in tragenden oder anderen anspruchsvollen Anwendungen beeinträchtigt. Gelöst wird das durch Technologien und Verfahren zur Verklebung verschiedener Holzschichten, wie Kreuzlaminierung oder Keilzinkung, bei denen Polyurethan-Klebstoffe zum Einsatz kommen. Dadurch ist es möglich, Holzplatten herzustellen, die ihre Festigkeit, Form und Funktionalität im Laufe der Zeit beibehalten. Durch den verstärkten Einsatz alternativer Rohstoffe kann die Klimabilanz dieser Materialien daher weiter verbessert werden.

Da alternative Rohstoffe im chemischen Fertigungsprozess an verschiedenen Stellen mit konventionellen Rohmaterialien vermengt werden und eine klare Zuordnung zu einzelnen Produkten dann nur noch schwer möglich ist, wird der verwendete alternative Rohstoff den Endprodukten mithilfe des Massenbilanzansatzes zugeordnet. Dabei handelt es sich um eine Methode, die es ermöglicht, traditionelle und alternative Rohstoffe während der Produktion zu mischen, sie jedoch buchhalterisch über alle Verarbeitungsschritte zu dokumentieren und so Produkten zuzuweisen. Die Richtigkeit und Konformität dieses Ansatzes wird extern durch den international anerkannten ISCC PLUS-Standard zertifiziert. Für den Holzklebstoff sind alle beteiligten Standorte und Partner von Henkel und Covestro nach diesem Standard zertifiziert.

**Bild 1** Mit PlasmaPlus erhalten Substrate aus Metall eine Nanobeschichtung – beim Verfahren AntiCorr wird eine leistungsfähige Korrosionsbeschichtung aufgebracht. Foto: Plasmamatreat GmbH

Plasmamatreat entwickelte Testverfahren für die AntiCorr Beschichtung

# Reinigung und Beschichtung von Metalloberflächen

Die Atmosphärendruckplasmaverfahren Openair-Plasma und PlasmaPlus von Plasmamatreat stehen nicht nur für höchste Wirksamkeit, sondern gestalten die Prozesse auch effizienter und umweltfreundlicher. Über die Perspektiven der Plasmabehandlung sowie das neuste Plasmamatreat Testverfahren zum Nachweis von Antikorrosionsbeschichtung informierte das Unternehmen aus Steinhagen jetzt während der Fachmesse Euroguss 2024 in Nürnberg.

In einer Anlage des Typs PTU 1212 (Plasma Treatment Unit) veranschaulichte das Unternehmen aus Steinhagen während der Fachmesse, wie die Reinigung mit Openair-Plasma sowie die anschließende Beschichtung mit einer Antikorrosionschicht funktioniert. Diese Nanoschicht wird durch das PlasmaPlus Verfahren AntiCorr aufgebracht. Um die Wirksamkeit der AntiCorr Beschichtung zu demon-

strieren, zeigte Plasmamatreat den Messebesucher\*innen verschiedene Aluminium-Druckgusskörper (mit und ohne Plasmabehandlung) nach einem 720-stündigen Salzsprühnebeltest zum Vergleich. An einem Plasma-Live-Table hatten Besucher\*innen die Möglichkeit, sich sowohl von der Feinstreinigung von Metallbauteilen zu überzeugen als auch verschiedene Analysemethoden zum Nachweis der Plasmabehandlung zu se-

hen: Gerade für den Nachweis der AntiCorr Beschichtung hat das Unternehmen ein innovatives und schnelles Testverfahren – die AntiCorr Testfluide – entwickelt. Innerhalb von Sekunden werden so sichtbare und auswertbare Ergebnisse erzielt, die einen zuverlässigen Rückschluss auf den Erfolg der Beschichtung zulassen. Dieser hochmoderne Ansatz verändert den Bewertungsprozess und bietet eine bisher nicht gekannte Effizienz.



## Feinstreinigung mit Openair-Plasma – vorbereitet für den nächsten Prozessschritt

Oberflächen von Metallbauteilen sind oft durch die in den Herstellungsprozess



**Bild 2** Aluminium-Druckgusskörper (mit und ohne Plasmabehandlung) nach einem 720-stündigen Salzsprühnebeltest zum Vergleich. Foto: Plasmamatreat GmbH

sen erforderlichen Trenn- und Gleitmittel, Schneidöle oder Ziehfette verunreinigt. Für eine einwandfreie Weiterverarbeitung müssen diese Kontaminationen entfernt werden. Konventionelle Reinigungsprozesse finden in der Regel mit Chemikalien statt. Dennoch verbleiben oft Rückstände, die die Weiterverarbeitung der Bauteile, etwa Verkleben oder Beschichten, erschweren. Eine gründliche und zugleich umweltschonende Alternative zur Reinigung mit Nasschemie ist die Openair-Plasma Technologie von Plasmamatreat. Für die Entfernung von organischen Kontaminationen benötigt diese Technologie nur Druckluft und Strom. Die Technologie ist also sauber, effizient, inlinefähig und selektiv einsetzbar.

## PlasmaPlus Beschichtung AntiCorr – Unterwanderungskorrosion vermeiden

Mit PlasmaPlus, einem weiteren von Plasmamatreat entwickelten Verfahren, erhalten Substrate aus Metall eine Nanobeschichtung. Dem Plasma wird hierbei zusätzlich ein Präkursor beigemischt, um eine ultradünne, hochwirksame Schicht auf der Metalloberfläche zu erzeugen, die je nach Zusammensetzung eine bestimmte Funktion übernimmt: Das PlasmaPlus Verfahren AntiCorr wird für eine leistungsfähige Korrosionsbeschichtung eingesetzt, welche unter anderem als Schutz unter Gehäuse-Dichtungen dient, um diese vor Unterwanderung zu schützen und so z. B. elektronische Komponenten wirkungsvoll vor Beschädigung zu bewahren. Der entscheidende Vorteil von AntiCorr ist die Möglichkeit der selektiven inline Behandlung, mit der nur die gewünschten und notwendigen Stellen des Bauteils behandelt werden. Das spart im Verhältnis zu anderen Korrosionsschutzverfahren Chemie, Logistikaufwand, Zeit und Kosten und schont gleichzeitig die Umwelt. ■

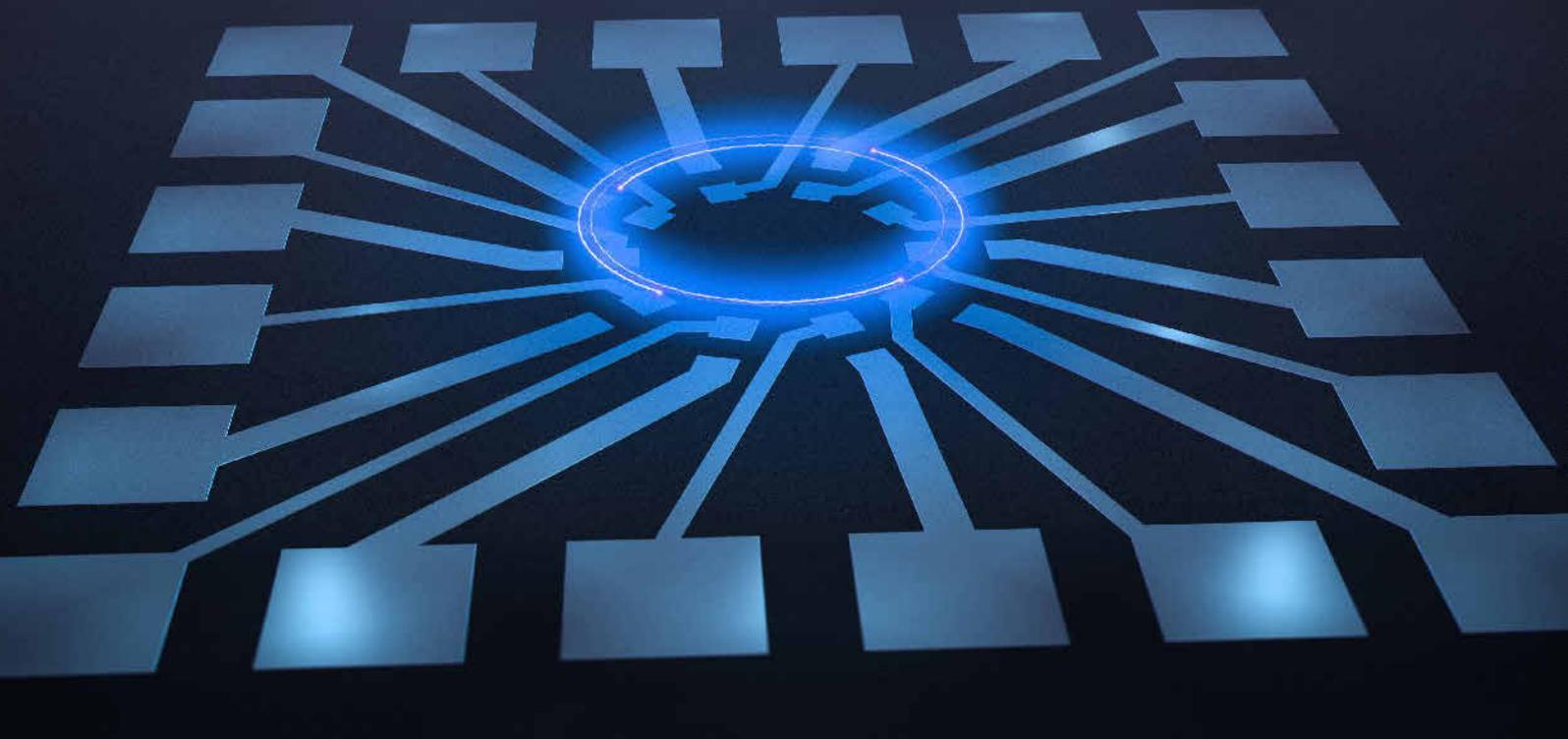
## SO FUNKTIONIEREN OPENAIR-PLASMA UND PLASMAPLUS

Tritt Plasma mit seinem hohen Energieniveau in Kontakt mit Materialien, so verändert es die Oberflächeneigenschaften, z. B. von hydrophob zu hydrophil. Die Plasmatechnologie benötigt zum Betrieb nur Druckluft und Strom. Bei der Feinstreinigung mit Openair-Plasma werden die Oberflächen schonend und zuverlässig von Staub, Trennmitteln, Additiven, Weichmachern und Kohlenwasserstoffen befreit. Insbesondere bei unpolaren Kunststoffen erzielt die Plasmabehandlung eine Aktivierung der Oberfläche. Sie unterstützt die Erhöhung der Oberflächenenergie durch die Einführung von Hydroxylgruppen und verbessert so die Haftung bei Folgeprozessen wie dem Verkleben, Bedrucken, Lackieren und Abdichten. Mit der PlasmaPlus-Technologie von Plasmamatreat lassen sich durch das Aufbringen (Abscheiden) von Nanobeschichtungen zusätzlich gezielt funktionalisierte Oberflächen mit definierten Eigenschaften erzeugen, z. B. als zusätzliche Haftvermittlerschicht.

### Kontakt

Plasmamatreat GmbH  
Queller Str. 76 – 80  
33803 Steinhagen  
[www.plasmamatreat.de](http://www.plasmamatreat.de)

Die neu entwickelten topologischen Quanten-Bauelemente erweisen sich als extrem robust und ultrasensibel.  
Foto: Christoph Mäder/pixelwg



Das Exzellenzcluster ct.qmat realisiert topologisches Quanten-Bauelement

# Extrem robust und ultrasensibel

Quantenphysiker\*innen aus Dresden und Würzburg ist ein Durchbruch gelungen: Erstmals realisierten sie ein Halbleiter-Bauelement, bei dem ein bestimmtes Quantenphänomen für höchste Robustheit sowie außergewöhnliche Sensibilität sorgt. Der topologische Skin-Effekt schützt die Funktionalität des Bauteils vor äußeren Einflüssen und ermöglicht extrem empfindliche Messungen. Grundlage des Forschungserfolgs war eine geschickte Anordnung von Kontakten auf dem Werkstoff Aluminium-Gallium-Arsenid. Nature Physics publizierte die Ergebnisse, die der topologischen Physik neue Potenziale für hochpräzise Quanten-Module öffnen und topologische Quantenmaterialien in den Fokus der Halbleiterindustrie rücken.

**H**albleiter-Bauelemente sind kleinste Schalteinheiten und sorgen in moderner Elektronik dafür, dass Elektronen transportiert und gesteuert wer-

den können. Das bringt unsere Alltagstechnologien zum Laufen – Handys und Laptops genauso wie moderne Medizintechnik oder Auto-Sensoren. Materialverunreinigungen oder Temperaturschwankungen können den Stromfluss in den

sensiblen Bauteilen jedoch stören. Dann leidet die Funktionalität des jeweiligen elektronischen Geräts.

Jetzt ist es theoretischen und experimentellen Physiker\*innen des Würzburg-Dresdner Exzellenzclusters ct.qmat –



Complexity and Topology in Quantum Matter gemeinsam gelungen, ein Halbleiter-Bauteil aus Aluminium-Gallium-Arsenid (AlGaAs) zu entwickeln, in dem ein topologisches Quantenphänomen den störanfälligen Elektronenfluss schützt. Die Forschungsergebnisse wurden im Fachjournal Nature Physics veröffentlicht.

„Dank des topologischen Skin-Effekts können die Ströme zwischen den verschiedenen Kontakten auf dem Quanten-Halbleiter weder durch Verunreinigungen noch durch andere äußere Einflüsse gestört werden. Das macht topologische Bauelemente für die Halbleiterindustrie

Würzburger Physik-Teams besteht darin, dass sie den topologischen Skin-Effekt als erste auf mikroskopischer Ebene in einem Halbleiter-Material verwirklichen konnten. Auf makroskopischer Ebene konnte dieses Quantenphänomen vor drei Jahren erstmals experimentell nachgewiesen werden – allerdings nur in einem künstlichen Metamaterial und nicht in einem natureigenen Werkstoff. Erst der aktuelle Forschungsbeitrag führte zu einem winzigen topologischen Quanten-Bauteil auf Halbleiterbasis, das außerordentliche Widerstandsfähigkeit und ultrahohe Sensibilität verbindet.

Kontakte gemessen und der topologische Effekt dort direkt nachgewiesen werden konnte.

## Standortübergreifend Neues entdecken

Seit 2019 erforscht das Exzellenzcluster ct.qmat in Würzburg und Dresden topologische Quantenmaterialien, die unter extremen Laborbedingungen wie ultratiefen Temperaturen, hohem Druck oder starken Magnetfeldern überraschende Phänomene offenbaren.

Die aktuellen Forschungsergebnisse wurden ebenfalls von Wissenschaftler\*innen erarbeitet, die an beiden Cluster-Standorten zu Hause sind. An dem neuen Quanten-Bauteil, das am IFW konzipiert wurde, waren sowohl theoretische Physiker\*innen der Universität Würzburg als auch theoretisch und experimentell Forschende aus Dresden beteiligt. Nach der Herstellung in Frankreich wurde das Bauteil in Dresden getestet. Jeroen van den Brink und seine Kolleg:innen arbeiten weiter am Verständnis dieses Phänomens, um es für künftige Technologien nutzbar zu machen.

„Dank des topologischen Skin-Effekts können die Ströme zwischen den verschiedenen Kontakten auf dem Quanten-Halbleiter weder durch Verunreinigungen noch durch andere äußere Einflüsse gestört werden.“

zunehmend interessant. Denn bei ihrer Herstellung kann man auf die extrem hohen Reinheitsgrade vom Material verzichten, die unsere heutige Elektronik so teuer machen“, erläutert Prof. Jeroen van den Brink, Direktor am Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden (IFW) und Gründungsmitglied von ct.qmat.

Topologische Quantenmaterialien gelten als äußerst robust und sind dadurch besonders geeignet für extrem leistungshungrige Technologien. „Unser Quanten-Halbleiter ist stabil und hochpräzise zugleich – diese Kombination ist ungewöhnlich. Das macht unser topologisches Bauteil gerade für die Sensortechnik spannend.“

### Extrem robust und ultrapräzise

Durch die Nutzung des topologischen Skin-Effekts werden neuartige, leistungsstarke elektronische Quanten-Bauteile möglich, die noch dazu sehr klein werden können: „Der Durchmesser unseres topologischen Quanten-Bauteils beträgt ungefähr 0,1 Millimeter und kann für zukünftige Elektronik-Anwendungen leicht weiter verkleinert werden“, so van den Brink. Der Forschungsbeitrag des Dresden-

„In unserem Quanten-Bauteil ist die Beziehung zwischen Strom und Spannung durch den topologischen Skin-Effekt geschützt, weil sich die Elektronen alle am Rand aufhalten. Selbst bei Verunreinigungen im Halbleiter-Material bleibt der Stromfluss stabil. Gleichzeitig können schon geringste Schwankungen von Strom oder Spannung von den Kontakten gemessen werden“, erklärt van den Brink. Das topologische Quanten-Bauteil ist vor allem für den Bau von hochpräzisen Sensoren oder Verstärkern mit sehr kleinem Durchmesser geeignet.

### Geschicktes Versuchsdesign

Ausschlaggebend für den Forschungserfolg war die Idee, den topologischen Effekt durch eine geschickte Anordnung von Materialien und Kontakten auf einem AlGaAs-Halbleiter-Bauteil unter ultrakalten Temperaturen sowie einem starken Magnetfeld zu provozieren: „Wir haben den topologischen Skin-Effekt aus dem Bauteil regelrecht herausgekitzelt“, sagt van den Brink. Dafür hat das Physik-Team eine zweidimensionale Halbleiterstruktur genutzt. Die Kontakte wurden so angeordnet, dass der elektrische Widerstand an den Rändern der

### Exzellenzcluster ct.qmat

Das Exzellenzcluster ct.qmat – Complexity and Topology in Quantum Matter (Komplexität und Topologie in Quantenmaterialien) wird seit 2019 gemeinsam von der Julius-Maximilians-Universität (JMU) Würzburg und der Technischen Universität (TU) Dresden getragen. Mehr als 300 Wissenschaftler\*innen aus mehr als 30 Ländern und von vier Kontinenten erforschen topologische Quantenmaterialien, die unter extremen Bedingungen wie ultratiefen Temperaturen, hohem Druck oder starken Magnetfeldern überraschende Phänomene offenbaren. Das Exzellenzcluster wird im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder gefördert – als einziges bundeslandübergreifendes Cluster in Deutschland. ■

#### Kontakt

Julius-Maximilians-Universität Würzburg  
Sanderring2  
97070 Würzburg  
www.ctqmat.de



**Bild 1** Ein Serienfahrzeug diente im Projekt als Versuchsträger für die innovative, komfort- und gewichtsoptimierte Antriebsstrang-Integration. Foto: Mercedes-Benz AG

Fraunhofer-Forschende testen vibroakustische Metamaterialtechnologie im Fahrzeug

# Spürbar leichter und leiser

In einem Serienfahrzeug haben Forschende neuartige Strukturen eingesetzt, die zu einer spürbaren Steigerung des akustischen Verhaltens im Fahrzeuginnenraum führen. Diese vibroakustischen Metamaterialien haben damit nicht nur im Labor, sondern auch im Fahrbetrieb ihre hervorragenden Eigenschaften unter Beweis gestellt. Ein neuentwickelter Gehäusedeckel, ein Leichtbaurahmen und ein neukonstruiertes Motorlager demonstrieren die industrielle Herstellbarkeit. Die Komponenten wurden eins zu eins im Originalbauraum des Serienfahrzeugs integriert und unter realen Fahrbedingungen getestet. Auf der Teststrecke wurde die Wirkung gewichtssparender Metamaterialien mit konventionellen Versteifungen und Schwerdämmbelägen zur Schwingungsminderung verglichen.

Im Forschungsprojekt „viaMeta“ kooperieren Hersteller, Zulieferer und Forschungseinrichtungen, um das Leichtbaupotenzial zukünftiger Fahrzeuge zu erschließen. Die Produktion und der Betrieb von Fahrzeugen spielen eine entscheidende Rolle bei der Bewältigung der globalen Herausforderung, den Klimawandel einzudämmen. Die strukturdynamische Optimierung

von Leichtbaustrukturen stellt eine zentrale Herausforderung für das materialsparende Design dar. Konventionelle Maßnahmen zur Schwingungsminderung, wie Dämmbeläge, Entkopplungselemente oder Tilger, stehen im Widerspruch zum Ziel des Leichtbaus und können die erforderlichen Frequenzbereiche, insbesondere bei elektrischen Antriebssystemen, oft nicht ausreichend abdecken.

## Vibroakustische Metamaterialien gegen den Klimawandel

Vibroakustische Metamaterialien bieten eine innovative Möglichkeit, Schwingungen in schlanken Strukturen zu kontrollieren. Durch periodisch angeordnete Resonatoren können spezielle Bauteileigenschaften erreicht werden. Innerhalb eines gezielt adressierbaren Stoppbandbereichs wird die Ausbreitung von Schwingungen im Material effektiv und breitbandig reduziert.

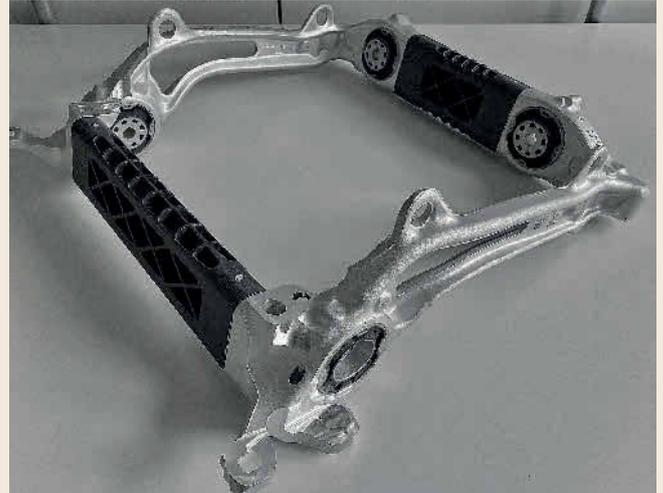
Innerhalb des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten Projekts „viaMeta“ haben die Mercedes-Benz AG, Boge Elastmetall GmbH, Novicos GmbH, das Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen und das Fraunhofer LBF basierend auf Forschungsergebnissen zu den Gestaltungsprinzipien der Metamaterialien konkrete, industriell herstellbare Lösungen für Fahrzeugbauteile entwickelt. Durch neue Maßnahmen im Bereich der Triebstrangintegration wurde die Schallabstrahlung aus dem Aggregat in die Luft sowie die Übertragung von Vibrationen über die Motorlager und den Motortragrahmen in die Karosserie wirksam beeinflusst.

### Ziel erreicht: Von der Grundlagenforschung zum praktischen Einsatz

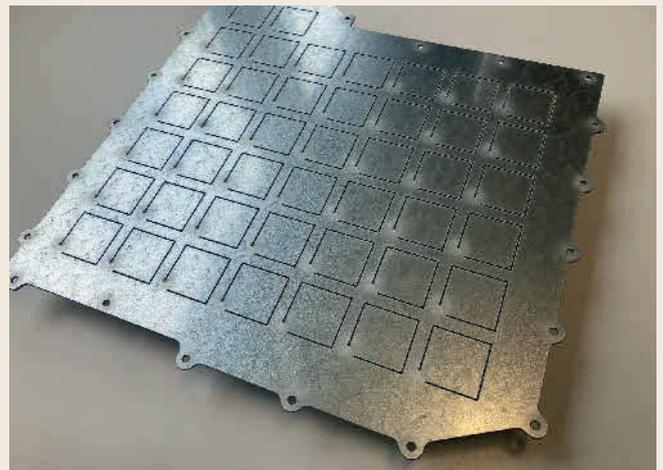
Das gerade abgeschlossene Projekt „viaMeta“ hat nicht nur konkrete und effektive Lösungen für seriennahe Fahrzeugbauteile geliefert, sondern auch praxistaugliche virtuelle Entwurfsmethoden für vibroakustische Metamaterialien, einschließlich KI-basierter Ansätze, erbracht sowie skalierbare industrietaugliche Herstell-



**Bild 2** Virtueller Entwurfprozess und seriennahe Produktion wurden unter anderem für neuartige Elastomerlager mit Metamaterialeffekt zur Transmissionsdämpfung verwirklicht. Foto: Boge Elastmetall GmbH



**Bild 3** Über den Tragrahmen werden dynamische Lasten vom Antrieb ins Fahrzeug übertragen, hier wurde ein innovativer Leichtbauansatz verwirklicht, indem Vibrationen mit Metamaterial absorbiert werden. Foto: Mercedes-Benz AG



**Bild 4** Ein Gehäusedeckel mit integrierter Metamaterialstruktur bietet gegenüber konventionellen Lösungen ein verbessertes Transmissionsverhalten bei gleichzeitiger Gewichtsreduktion. Foto: Fraunhofer LBF

lungsprozesse und den Nachweis der Wirksamkeit dieser Maßnahmen im Fahrzeug gezeigt. Dadurch wird die Brücke von der Grundlagenforschung zum praktischen Einsatz vibroakustischer Metamaterialien in zukünftigen Fahrzeugen geschlossen.

Die Forschungsergebnisse des Projekts werden bei der Abschlussveranstaltung am 17. April 2024 am Fraunhofer LBF in Darmstadt der interessierten Öffentlichkeit präsentiert. Im Rahmen dieser Veranstaltung besteht auch die Möglichkeit zur Diskussion mit Experten aus Industrie und Forschung. ■

#### Kontakt

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF  
 Bartningstraße 47  
 64289 Darmstadt  
[www.lbf.fraunhofer.de](http://www.lbf.fraunhofer.de)



Prof. Dr.-Ing. Tim Michael Wibbeke, Dr. Aurélie Bartley und Nick Chudalla (v.l.) im Gespräch beim AiF-Innovationsdialog. Foto: Jürgen Schulzki/AiF

Forschung ermöglicht nachhaltige kreislaufwirtschaftliche Prozesse nicht nur in der Fahrzeugreparatur

# Eiskalte Trennung von geklebten Stahlverbindungen

Ein modernes Auto enthält 15 bis 18 Kilogramm Klebstoff, der wertvolle Stahlbauteile zusammenfügt. Hochfeste Stahlklebverbindungen materialerhaltend zu trennen, ist aufgrund der hohen Festig- und Zähigkeiten sowohl der Stahlwerkstoffe und auch der Klebstoffe eine große Herausforderung.

**D**iese Problem wollende das Forschungsteam Prof. Dr.-Ing. Tim Michael Wibbeke und Dr. Aurélie Bartley vom Lehrgebiet Fertigungs-

technologie Mechatronik der Hochschule Hamm-Lippstadt sowie Prof. Dr.-Ing. Gerson Meschut und Nick Chudalla vom Laboratorium für Werkstoff- und Füge-technik der Universität Paderborn lösen. Dafür haben die Forschenden eine

„eiskalte“ Lösung entwickelt. Die Wissenschaftlerin und Wissenschaftler gehören zu den drei Finalistenteams für den Otto von Guericke-Preis 2023. Die Ergebnisse ihres Forschungsprojektes mit dem Titel „Analyse des Versagensverhal-



ten geklebter Stahl-Verbindungen bei werkstoffschonenden Entfügen in der Karosserieinstandsetzung“ machen nachhaltige kreislaufwirtschaftliche Prozesse nicht nur in der Fahrzeugreparatur möglich.

Denn insbesondere im Automobilbau ist das Kleben als Füge­technologie nicht mehr wegzudenken – von Leichtbaukarosserien, über Sicherheitsgläser bis hin zu Traktionsbatterien. Neun Prozent der gesamten jährlichen Klebstoffproduktion entfallen mittlerweile auf die Fahrzeugbranche. Während Klebverbindungen für Produktion, Betrieb und auch bei einem Crash klare Vorteile bieten, bereiten sie bei Karosserieinstandsetzung jedoch große Probleme. Diese Probleme und diese Klebverbindungen haben die Forschenden jetzt erfolgreich gelöst.

### Das neue „Heiß“ ist „Eiskalt“

Schweißpunkte an Karosseriestrukturen werden mit Spezialfräsen entfernt und Niet­en herausgedrückt. „Hochfeste, crashstabile Klebverbindungen mussten bislang bei relativ hohen Temperaturen von 350 bis 500 Grad Celsius, zum Beispiel mit einem speziellen Heißluftfön und mit Karosseriemeißeln, aufwendig entfügt werden“, erklärt Wibbeke. Bauteile, die eigentlich in die Wiederverwendung gehen sollten, wurden durch die mechanische Beanspruchung deformiert. „In Karosseriestrukturen haben wir häufig Mehrlagenverbindungen – das heißt, es sind mehrere Klebschichten übereinander angeordnet. Durch die hohen Temperaturen werden die darunterliegenden Klebschichten thermisch geschädigt“, ergänzt Meschut. Dieses Verfahren ist weder kostengünstig noch nachhaltig. Im Rahmen des IGF-Projektes wurde daher nach einem neuartigen Ansatz gesucht, Klebverbindungen mittels tiefer Temperaturen schnell, einfach und nachhaltig sowie bauteilschonend zu lösen.

Die Wissenschaftlerin und Wissenschaftler ermittelten zunächst die Parameter, unter denen die Klebstoffe „effizient und kraftarm“ und ohne Verformung der Bauteile entfügt werden können. „Wir konnten zeigen, dass bei einer kurzzeitigen Abkühlung von zirka minus 60 Grad Celsius die Werkstoffeigenschaften unbeeinflusst bleiben. Das

macht unser Verfahren besonders schonend und gut geeignet für die Kreislaufwirtschaft der Karosserieteile“, hebt Bartley hervor. Aufbauend auf diesen Forschungsergebnissen setzte das Team einen Demonstrator ein, der auf einer Trockeneisstrahlanlage basiert. „Zur besseren Kälteeinbringung wurde ein Gemisch aus CO<sub>2</sub> und Ethanol verwendet. Das verweilt auf dem Bauteil und kühlt die darunterliegende Klebschicht ab“, beschreibt Chudalla den Prozess zur Vorbereitung des materialschonenden Entfügens.

„Wir konnten zeigen, dass bei einer kurzzeitigen Abkühlung von zirka minus 60 Grad Celsius die Werkstoffeigenschaften unbeeinflusst bleiben. Das macht unser Verfahren besonders schonend und gut geeignet für die Kreislaufwirtschaft der Karosserieteile.“

### „Extrem wirtschaftlich und nachhaltig“

Innerhalb von IGF-Projekten forschen Wissenschaft und Wirtschaft immer gemeinsam. Mittelständische Unternehmerinnen und Unternehmer bringen ihre langjährige Expertise aus der Praxis ein und sind ein Garant für anwendungsnahe und vor allem bedarfsge­rechte Forschung. Peter Vogel, Geschäftsführer der Vogel GmbH & Co. KG – Karosserie und Lackiercenter, und seine Mitarbeiter verwenden das Kaltentfügeverfahren seit April 2022. Der Unfallreparaturspezialist fasst die

Wirkung der Forschungsergebnisse zusammen: „Für uns ist eine effiziente, nachhaltige, schnelle Reparatur von Multimaterialmix-Karosserien extrem wichtig. Bei dem Kaltentfügeverfahren werden bestehende Strukturen entsprechend geschont und wir können damit eine schnellere und saubere Reparatur generieren. Das ist für uns extrem wirtschaftlich und nachhaltig.“

Dieses Projekt sei ein hervorragendes Beispiel dafür, wie anwendungsorientierte Gemeinschaftsforschung im vorwettbewerblichen Bereich für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) funktioniert, schätzt Rainer Salomon, Geschäftsführer der AiF-Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. – Fosta ein und erklärt: „Allein über den Zentralverband Fahrzeug- und Karosserietechnik erreichen wir über 3200 Unternehmen mit den IGF-Ergebnissen, die diese jetzt auch wirklich anwenden können. Da sie großserientauglich sind, bedeutet dies große Vorteile im Werkstoffkreislauf.“ Überall wo Stahl eingesetzt wird, könne das neue Entfügeverfahren ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit steigern.

### Der Otto von Guericke-Preis für besondere Innovationen

Das Forschungs- und Transfernetzwerk AiF Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. vergibt den mit 10000 Euro dotierten Preis seit 1997 an Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler für besondere Innovationsleistungen auf dem Gebiet der vorwettbewerblichen Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF), die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) mit öffentlichen Mitteln gefördert wird. ■

#### Kontakt

AiF Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V.  
Bayenthalgürtel 23  
50968 Köln  
www.AiF.de



**Herkömmliche PU-Schäume** eignen sich nicht für Brandschutzlösungen, da sie bestenfalls als schwer entflammbar klassifiziert sind. PantherMedia / Fenixfoto1985

**Forschung und Industrie entwickeln einen nichtbrennbaren Füll- und Montageschaum weiter**

# Nicht brennbar und jetzt auch gering wärmeleitfähig

Forschende am Fraunhofer WKI haben gemeinsam mit der Firma IGP Chemie GmbH einen nichtbrennbaren Füll- und Montageschaum weiterentwickelt, sodass er die Baustoffklasse A1 erreicht und eine geringe Wärmeleitfähigkeit besitzt. Damit wird der Einbau von Brandschutztüren und -fenstern sowie das Verschließen von Durchbrüchen in Brandschutzwänden vereinfacht. Außerdem hat das Fraunhofer WKI gemeinsam mit dem Projektpartner GWK Kuhlmann GmbH mithilfe des neuen Schaums Prototypen für vorgefertigte Isolationschalen für Armaturen und Ventile hergestellt – eine Innovation für den Brandschutz im Bau, die in einem Folgeprojekt für den industriellen Einsatz weiterentwickelt wird.

In Gebäudebereichen ohne besondere Brandschutzanforderungen kommen derzeit Füll- und Montageschäume auf Basis von Polyurethan (PU) zum Einsatz. PU-Schäume eignen sich aber nicht für Brandschutzlösungen, da sie bestenfalls als schwer entflammbar klassifiziert sind. Die Firma IGP Chemie GmbH hat bereits einen nichtbrennbaren

2-Komponenten-Schaum auf mineralischer Basis entwickelt. Im Vergleich zu handelsüblichen PU-Schäumen musste der Schaum aber im Bereich Dämmwirkung (thermische Isolierung) noch verbessert werden. Die Projektpartner IGP Chemie GmbH, GWK Kuhlmann GmbH sowie die WF – formprojekt GmbH verfolgten daher gemeinsam mit dem Fraunhofer WKI das Ziel, die Rezep-

tur zu verbessern. „Die Herausforderung bestand darin, die Rezeptur so anzupassen, dass die Baustoffklasse A1 'nichtbrennbar' nach der DIN EN 13501-1 beibehalten wird und dass die Wärmeleitfähigkeit gering ist“, sagt Dr. Torsten Kolb, Projektleiter am Fraunhofer WKI.

## Schaumrezeptur wurde optimiert

Durch die Betrachtung der Wirkungsweise der einzelnen Komponenten gelang den Projektpartnern die Optimierung der Schaumrezeptur. Die Forschenden stellten auf Grundlage dieser Rezepturen Probekörper her. Diese wurden bezüglich der Verbrennungswärme im Bombenkalorimeter, der Wärmeleitfähigkeit und der Rohdichte charakterisiert. Hieraus konnten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler fünf Rezepturen identifizieren, die die Baustoffklasse nichtbrennbar (A1) erreichten und eine geringe Wärmeleitfähigkeit besaßen.

„Fast alle Proben haben die Prüfung im Nichtbrennbarkeitsofen bestanden, die zusätzlich zur Untersuchung im Bombenkalorimeter erforderlich ist, um die Baustoffklasse A1 zu erreichen. Während der Prüfung konnten wir zeigen, dass es bis auf eine Probe bei allen Prüfungen zu keiner Entflammung kam.“

Die Forschenden nahmen eine weitere Charakterisierung nach Aspekten wie Nichtbrennbarkeit, Zug- und Druckfestigkeit, Wasseraufnahme sowie Aufschäumverhalten vor. „Fast alle Proben haben die Prüfung im Nichtbrennbarkeitsofen bestanden, die zusätzlich zur Untersuchung im Bombenkalorimeter erforderlich ist, um die Baustoffklasse A1 zu erreichen. Während der Prüfung konnten wir zeigen, dass es bis auf eine Probe bei allen Prüfungen zu keiner Entflammung kam“, resümiert Dr. Kolb.

## Dämmboxen sollen industriell produziert werden

In praktischen Versuchen gelang es den Projektbeteiligten, den Montageschaum in Formen zu schäumen, um daraus Dämmboxen zur Isolation von Heizungen herzustellen. Die Forschenden testeten darüber hinaus die Verwendung des Brandschutzschaums zur Steigerung des Feuerwiderstands von geschlitzten Gipskartonplatten.



**Bild 2** Der neue Montageschaum lässt sich in Formen schäumen, um daraus zum Beispiel Dämmboxen zur Isolation von Heizungen herzustellen.  
Foto: Fraunhofer BWKI /Manuela Lingnau

In einem Folgeprojekt, das im November 2023 gestartet ist, werden die Forschenden die Schaumrezeptur bezüglich Emissionen verbessern, sowie die Wasseraufnahme und Wärmeleitfähigkeit optimieren. Darüber hinaus soll ein Verfahren entwickelt werden, mit dem es möglich ist, Dämmboxen industriell herzustellen. Dafür verfolgen die Forschenden das Ziel, eine Prototypenanlage zur Herstellung von Dämmboxen für Heizungsanlagen auf der Basis einer Zwei-Komponenten-Schaumrezeptur zu entwickeln.

## Brandschutzvorgaben lassen sich einfachen umsetzen

Mit der Entwicklung des nichtbrennbaren Bauschaums wird es für die Bauindustrie zukünftig einfacher, hohe Brandschutzvorgaben umzusetzen. Durchbrüche und Hohlräume in feuerbeständigen und hochfeuerhemmenden Bauteilen lassen sich mit dem neuen nichtbrennbaren Bauschaum schnell verschließen. Auch Firmen im Bereich der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) könnten profitieren. Mit dem Brandschutzschaum erhalten sie eine einfache Möglichkeit, diverse haustechnische Anlagen wie zum Beispiel Heizungen mit einer brandgeschützten Wärme- und Schalldämmung auszurüsten.

## Förderung

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau über das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). ■

## Kontakt

Fraunhofer-Institut für Holzforschung  
Wilhelm-Klauditz-Institut WKI  
Riedenkamp 3  
38108 Braunschweig  
[www.wki.fraunhofer.de](http://www.wki.fraunhofer.de)

Forschungsprojekt untersucht den Einsatz von Lehm als Baustoff für Lärmschutzwände

# Umweltfreundlich und wiederverwendbar

Das Carl Ritter von Ghega Institut für integrierte Mobilitätsforschung der FH St. Pölten und der Forschungsbereich Baugeschichte und Bauforschung an der TU Wien untersuchten in einem Sondierungsprojekt den Einsatz von Lehm als Baustoff für Lärmschutzwände. Das Ergebnis: Lärmschutzwände aus Lehm stellen eine nachhaltige und kostengünstige Alternative dar.

Bis zu einem Regeleinsatz ist allerdings noch einiges an Forschungsarbeit notwendig.

**D**ie Baubranche trägt signifikant zu den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei, hauptsächlich durch Baustoffe wie Beton und Stahl. Um diesen Emissionsanteil zu reduzieren, wird in der Baustoffforschung fortlaufend nach umweltverträglicheren Alternativen gesucht. Auch im Bau von Eisenbahnanlagen, die normalerweise als umweltfreundlich gelten, besteht diese Herausforderung. „Wir haben uns daher überlegt, welche alternativen Baumaterialien eingesetzt werden können. Lehm stellt einen umweltfreundlichen, natürlichen und seit Jahrtausenden bewährten Baustoff dar, der wiederverwendbar ist. Besonders bei Bauwerken mit geringer mechanischer Belastung, wie etwa Lärmschutzwänden, ist Lehm als Baustoff vielversprechend“, erklärt Projektleiterin Hirut Grossberger vom Carl Ritter von Ghega Institut für integrierte Mobilitätsforschung der FH St. Pölten.

## Lärmschutzwand aus Baustellenaushub

Im Projekt wurden verschiedene Lehmbautechniken für Lärmschutzwände im Schienenverkehr identifiziert und bewertet. Bei der Entwicklung der Prototypen achteten die Forscher\*innen besonders auf ein effizientes Herstellungsverfahren: So wurde der Erdaushub, der beim Bau einer Bahnstrecke anfällt, direkt für den Aufbau der Lärmschutzwände verwendet. Dadurch konnten Transportwege für Materialien reduziert, Ressourcen geschont sowie Energieverbrauch und Emissionen eingespart werden.

Die Forscher\*innen der FH St. Pölten und TU Wien kamen im Sondierungsprojekt zum Ergebnis: Lehm ist als alternativer Baustoff für Lärmschutzwände aus technischer, bahnbetrieblicher und juristischer Sicht geeignet. „Die Lärmschutzbauwerke werden aus statischen Gründen zwar wesentlich breiter und schwerer als bisherige Systeme, sind aber dennoch im Regelgleisquerschnitt unterzubringen“, erklärt Grossberger. „Sie können neben umwelttechnischen Vorteilen dank ihrer langen Lebensdauer unter Umständen auch kostengünstiger genutzt werden als herkömmliche Schallschutzwände.“

Bis zu einem Regeleinsatz im Bahnbau ist allerdings noch einiges an Forschungsarbeit notwendig. Insbesondere das Verhalten



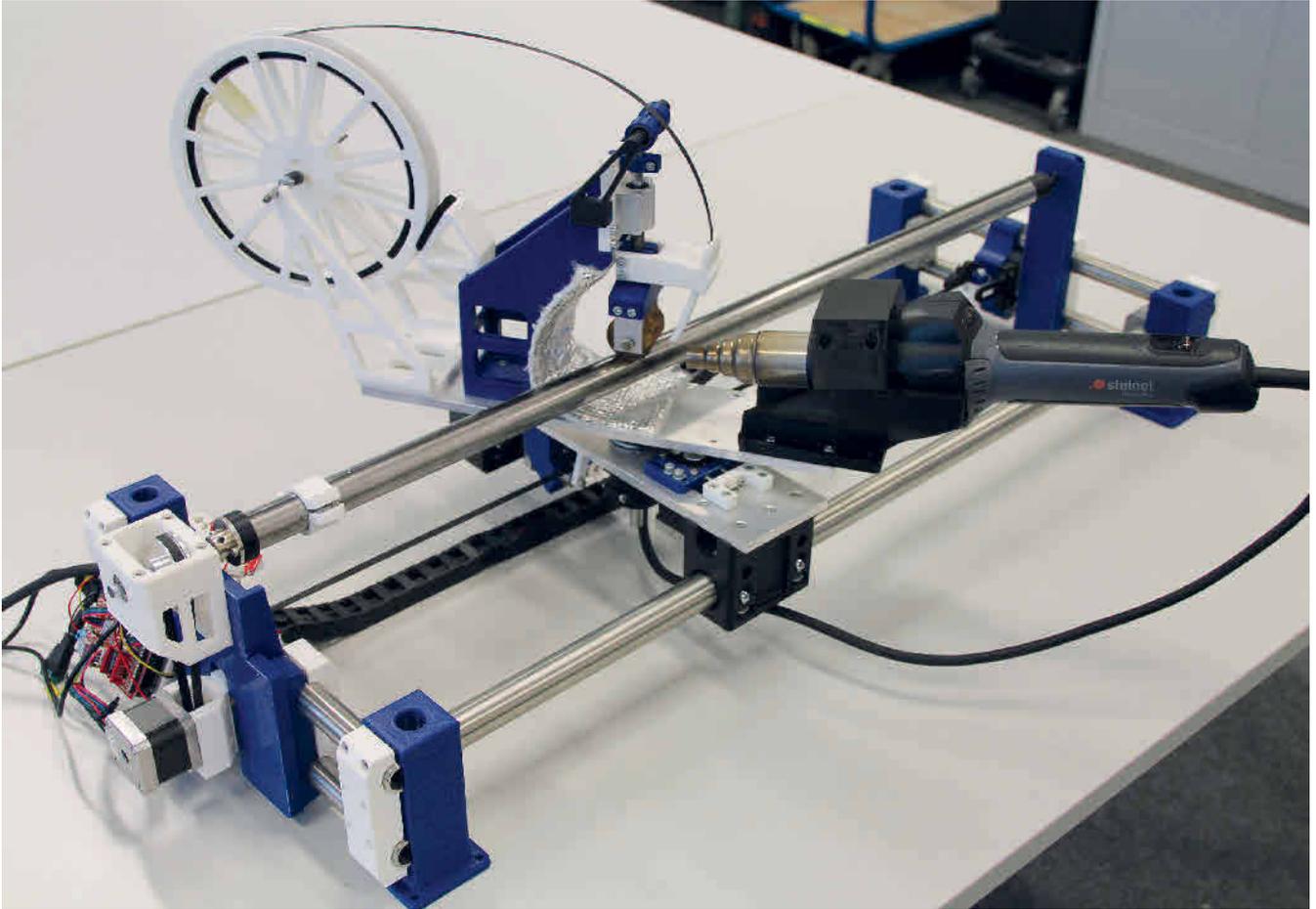
Visualisierung einer Lehm-Lärmschutzwand. Grafik: Wolbert Marten/TU Wien

des Bauwerkes unter dynamischer Dauerbeanspruchung im Echtbetrieb ist bis dato unbekannt. Ein Errichten von Prototypen entlang von Eisenbahnstrecken wird daher für weitere Untersuchungen empfohlen. „Die interdisziplinäre Zusammenarbeit sowie frühzeitige Einbindung von Fachexpert\*innen hat zu einem guten

Ergebnis des Sondierungsprojekt geführt. Wir hoffen, dass wir durch eine Förderung für ein Folgeprojekt Prototypen bauen und weitere Parameter vertiefend untersuchen können“, freut sich Hirut Grossberger auf mögliche nächste Schritte. Das Sondierungsprojekt lief von September 2022 bis September 2023 und wurde von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft FFG gefördert. Partner\*innen im Projekt waren die TU Wien (Fachbereich Baugeschichte und Bauforschung) sowie das Netzwerk Lehm. ■

## Kontakt

Fachhochschule St. Pölten GmbH  
Campus-Platz 1  
A 3100 St. Pölten  
[www.fhstp.ac.at](http://www.fhstp.ac.at)



**Bild 1:** Fertiggestellter Prototyp, hergestellt mit einem 3D-Drucker und einfach zu beschaffenden Komponenten. Foto: Verfasser

Herstellung von faserverstärkten thermoplastischen Kunststoffrohren

# Entwicklung und Konstruktion einer Wickelmaschine als Open Source Hardware

Die Maschine ist in der Lage faserverstärkte thermoplastische Kunststoffrohre herzustellen.

Entwickelt und konstruiert wurde die Maschine als Open Source Hardware Projekt.

Das bedeutet die Baupläne und Zeichnungen werden frei zur Verfügung gestellt. Heimwerker und andere Interessierte sollen dadurch die Möglichkeit bekommen faserverstärkte Rohre eigenständig und günstig herzustellen. Die Entwicklung und Konstruktion der Wickelmaschine ist das Ergebnis einer Masterarbeit an der Hochschule Osnabrück.

TEXT: Jens Schäfer, Simon Schlichtermann

**D**as Ziel ist es Heimwerkern die Möglichkeit zu bieten, faserverstärkte Kunststoffrohre in der eigenen Heimwerkstatt anfertigen zu können. Aus diesem Grund wird die Maschine als Open Source Hardware (OSH) entwickelt und später veröffentlicht. OSH sind physische Objekte bei denen jeder das Recht auf herstellen, studieren, verbessern, verbreiten und verkaufen hat. Bezogen auf die Wickelmaschine werden somit die Zeichnungen, Stücklisten und Montageanleitungen angefertigt und kostenlos bereitgestellt. Dadurch soll Personen mit wenig technischem Know-how oder fehlendem Budget für eine industrielle Anlage der Zugang und Nachbau zu dieser Technologie ermöglicht werden. Daraus folgend erfolgt die Beschaffung und Fertigung der Komponenten in erster Linie unter zwei Aspekten:

1. Zum einen sollen alle Komponenten für circa 500 Euro zu beziehen sein.
2. Zum anderen sollen die Bauteile mit einfachen Fertigungsverfahren herstellbar sein. Dazu zählen: Bohren, Sägen, Feilen und der FDM-3D-Druck.

Diese zwei Aspekte sollen sicherstellen, dass eine breite Masse interessierter Heimwerker dieses Projekt umsetzen kann. Zusätzlich sollen die Rohre nach persönlichen Anforderungen in Durchmesser und Länge und Belastungsart individualisierbar sein.

### Herstellung der Rohre nach dem Wickelprinzip

Die faserverstärkten Rohre werden nach dem Wickelprinzip hergestellt. Das bedeutet, dass die Kinematik der Anlage sehr einfach gehalten werden kann. Auf einem Drehtisch sind der Heißluftföhn, die Andrückrolle und der Materialspeicher befestigt. Dieser Drehtisch kann eine Schwenkbewegung ausführen und gleichzeitig horizontal auf einer Führungsschiene verfahren. Der Wickelwinkel wird durch die horizontale Bewegung des Drehtisches und der Drehgeschwindigkeit des Kerns eingestellt. Die Schwenkbewegung des Drehtisches passt sich dem Wickelwinkel an, damit das Tape mit der gesamten Oberfläche auf dem Kern aufliegt. Rohmaterial der Rohre sind unidirektionale verstärkte Kunststofftapes. Dieses Tape wird an einem drehenden Kern festgeklemmt und durch die Drehung aufge-

wickelt. Gleichzeitig wird durch ein Heißluftgebläse das Tape angeschmolzen. Dadurch wird das Tape auf den Kern abgelegt oder mit den bereits gelegten Schichten verbunden.

Die Komponenten der Maschine bestehen aus profilförmigen Halbzeugen, Normteilen und Standardkomponenten aus dem 3D-Druck Bereich, beispielsweise Schrittmotoren, Antriebsscheiben oder Riemen. Alle übrigen speziellen Teile werden mit dem 3D-Drucker hergestellt oder entsprechend nach Zeichnung zugesägt und bearbeitet. Zum Ansteuern der Motoren wird ein Arduino UNO in Kombination mit einem CNC-Shield verwendet. Mit diesen Komponenten können bis zu vier Schrittmotoren angesteuert werden. Im Bereich der Heißluftquelle wird Hitzeschutzfolie angebracht, um die 3D-gedruckten Bauteile abzuschirmen. Als Material für alle gedruckten Komponenten wurde Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymere (ABS) verwendet. Dieses Material kann auf nahezu jedem FDM 3D-Drucker verarbeitet werden und bietet im Vergleich zu gängigen 3D-Druck Materialien eine deutlich höhere Hitzebeständigkeit.

Während der Masterarbeit wurde ein erster Prototyp der Wickelmaschine angefertigt, der Rohre mit einer Kohlenstofffaser und einer Matrix aus Polypropylen herstellt. Dieser Prototyp kann Rohre mit

einem Durchmesser bis 55 mm und einer Länge bis 650 mm herstellen (**Bild 2**).

Der Durchmesser wird dabei formgebend durch den Kern vorgegeben, wofür ein einfaches Stahlrohr verwendet wird. Die Länge der Maschine kann nach eigenen Anforderungen der Rohrlänge, bis zu einem gewissen Grad verlängert werden. Aus dem Grund, dass die Rohre später als Halbzeuge für unter anderem Bauprojekte verwendet werden sollen, sollten sie eine gewisse Stabilität aufweisen. Dafür wurden die Rohre auf Fehlstellen zwischen den Schichten untersucht. Dafür wurde eine Lunkeranalyse an einem CT-Gerät der Hochschule Osnabrück durchgeführt (**Bild 3**).

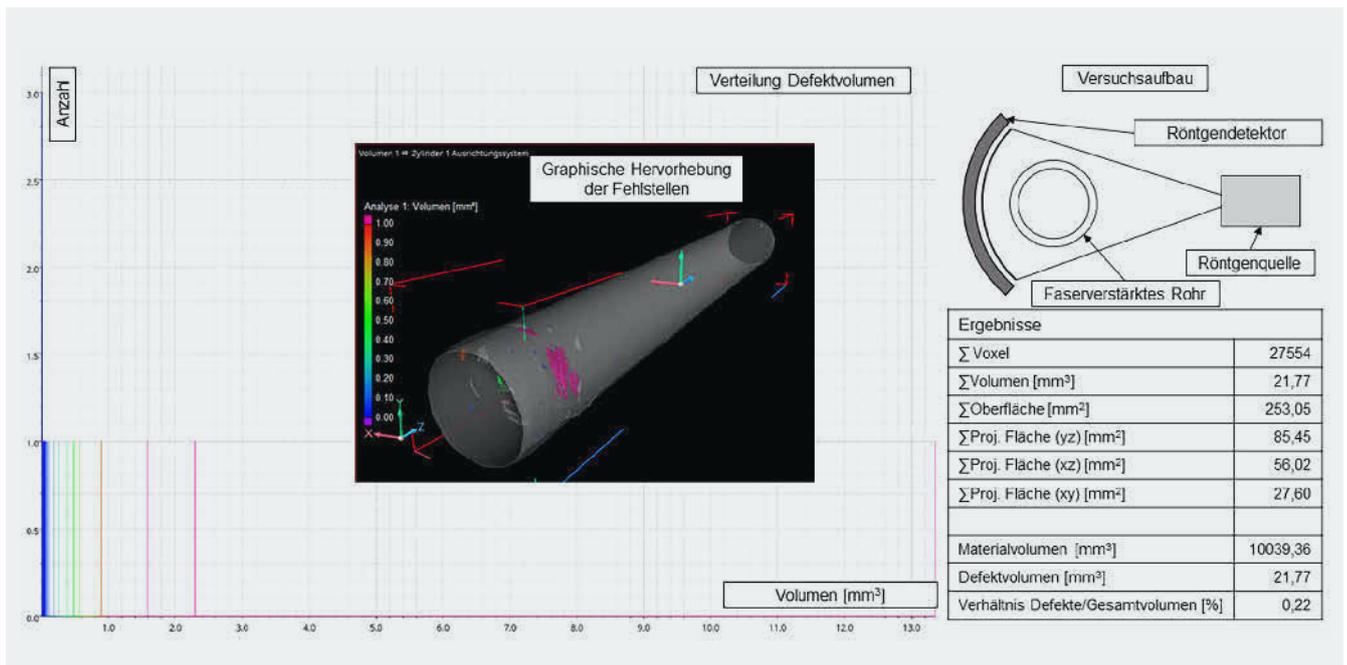
### Kennzeichen des Verfahrens: wenig Materialabfall

Das Ergebnis ist für eine Heimanwenderanlage als positive zu bewerten. Der prozentuale Anteil des Defektvolumens zu dem Materialvolumen liegt bei 0,22%. Das Wickelverfahren zeichnet sich zudem durch einen niedrigen Materialabfall aus, weil nur die beiden Rohrenden als Nacharbeit entfernt werden müssen.

Besonderheit der Anlage ist die Anpassung des Wickelwinkels an die Belastungsart des Rohres. Der Winkel kann von 45° bis 90° eingestellt werden. Diese Rohre eignen sich somit besonders für



**Bild 2:** Faserverstärkte Rohre, gewickelt mit Umfangs- und Kreuzwickellagen. Foto: Verfasser



**Bild 3:** Lunkeranalyse eines faserverstärkten Rohres, hergestellt mit der Wickelmaschine. Grafik: Verfasser

torsionsbelastete und unter Innendruck stehende Rohre. Für die Zukunft ist ein Modul geplant, das die Tapes entlang der Rohrmittelachse ablegt. Dadurch können Rohre hergestellt werden, die hauptsächlich unter einer Biegebelastung stehen, was zu einer deutlichen Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten führt. Derzeit werden G-Codes verwendet, um die Bewegungsabläufe der Rohre zu programmieren. Dies ist sehr zeitaufwendig, weil jedes Rohr mit einer anderen Geometrie neu programmiert werden muss. An dieser Stelle bedarf es noch weiterem Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

## OSH-Maschinen haben lange Lebensdauer

OSH-Maschinen haben eine sehr lange Lebensdauer, weil defekte Teile eigenständig neu hergestellt und ausgetauscht werden können, was sie besonders nachhaltig macht. Zudem können diese Maschinen jederzeit erweitert werden und Nutzer können ihr technisches Verständnis in den unterschiedlichsten Bereichen erweitern.

Aktuell wird die Anlage von Studenten der Hochschule Osnabrück weiterentwickelt. Darüber hinaus ist jeder dazu eingeladen, die Anlage nachzubauen, zu benutzen, Verbesserungen vorzuschlagen, weiterzuentwickeln und zu unterstützen. Die Zeichnungen, Stücklisten, die Dateien zum 3D-Drucken und die Montageanleitung sind unter folgendem Link frei verfügbar:

<https://github.com/Simon0613/Wickelmaschine>

Open Source ist im Softwarebereich schon länger bekannt. Bekannte Beispiele sind die Betriebssysteme Android und Linux. Im Hardwarebereich ist Open Source noch wenig verbreitet. Dabei bieten sich auch dort viele Möglichkeiten. Weil die Baupläne und Konstruktionsdaten frei zur Verfügung gestellt werden, kann das Produkt auch von anderen Akteuren außerhalb des Unternehmens weiterentwickelt werden. Gerade in Zeiten des Fachkräftemangels besteht so ein großes Potenzial, die Effizienz in der Entwicklung von Produkten zu verbessern.

Außer dem vorgestellten Projekt gibt es einige weitere Projekte, die tendenziell Heimwerker als Zielgruppe haben. Im industriellen Bereich sind bisher keine nennenswerten Projekte bekannt.

Zur weiteren Verbreitung gibt es noch eine Reihe von Fragen, die beantwortet werden müssen. Wichtig ist die Frage nach möglichen Geschäftsmodellen. Insbesondere für die Unternehmen, die Open Source Hardware Produkte initial entwickeln und der Öffentlichkeit zur Verfügung stellen.

Mit Blick auf Open Source Software lassen sich einige Ansätze ableiten, die auf Open Source Hardware individuell angepasst werden müssen. Ein Ansatz könnte es sein, dass das als Open-Source zur Verfügung gestellte Produkt eine offene und erweiterbare Plattform für zu-

künftige Produkte ist, mit denen die Unternehmen dann Geld verdienen können. Die Tatsache, dass die Plattform kostenlos zur Verfügung gestellt wird, wird dazu beitragen, die Verbreitung dieser zu begünstigen. Ein weiterer Ansatz könnte das Anbieten von Service-Leistungen sein. Durch eine Kombination können Unternehmen auch eine Strategie betreiben, die im Ansatz einer Preisdifferenzierung entspricht mit dem Hauptziel, die eigene Plattform als Standard zu etablieren.

Das zur Verfügung stellen von Konstruktionsdaten kann auch ein Ansatz sein, das eigene Unternehmen bei jungen Talenten bekannt zu machen, um so angehende Ingenieur\*innen schon früh für sich gewinnen zu können. Die Entwicklung angepasster Geschäftsmodelle für Open Source Hardware ist eines der Ziele laufender Forschungsaktivitäten an der Hochschule Osnabrück. ■

Prof. Dr.-Ing. **Jens Schäfer**

und **Simon Schlichtermann**  
 Fakultät Ingenieurwissenschaften  
 und Informatik  
 Hochschule Osnabrück  
 49076 Osnabrück  
[jens.schaefer@hs-osnabrueck.de](mailto:jens.schaefer@hs-osnabrueck.de)  
[simon.schlichtermann@hs-osnabrueck.de](mailto:simon.schlichtermann@hs-osnabrueck.de)  
[www.hs-osnabrueck.de](http://www.hs-osnabrueck.de)



**Bild 1:** Bei einer elektrischen Parkbremse reicht ein Knopfdruck, um die Bremse zu aktivieren und das Fahrzeug sicher auch an abschüssiger Stelle zu parken. Foto: PantherMedia/tomwang

## Niederohmige Widerstände in kleiner Bauform

# Präzisionswiderstand überwacht Stromprofil in elektrischer Parkbremse

Downsizing bleibt der zentrale Trend im Automotive-Bereich. Kleinere und kompaktere Bauteile bedeuten eine Platzersparnis, geringeres Gewicht und letztlich auch eine Reduzierung des Verbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die Ansprüche an die Komponenten bleiben aber gleich hoch; gefragt ist eine Miniaturisierung bei einer vergleichbar hohen Performance. Die Isabellenhütte, Spezialist für aktive Strommessung, hat in diesem Zuge vor einigen Jahren die FMx-Reihe als Shunts eingeführt, um dieser Marktanforderung zu entsprechen und eine Lücke im Portfolio bei niederohmigen Widerstandswerten in kleineren Baugrößen zu schließen. Welche Einsatzmöglichkeiten diese Shunt-Reihe bietet, zeigt sich am Anwendungsbeispiel elektrische Parkbremse, die sich in neuen Fahrzeugen bis hin zur Kompaktklasse durchgesetzt hat.

**D**ie übliche mechanische Seilzugbremse im Fahrzeug war stets anfällig für Verschleiß und Ausfall. Seilzüge können durch Salzeinwirkung und Feuchte im Winter im Laufe der Jahre korrodieren und schließlich nicht mehr angemessen funktionieren. Diese Gefahr besteht bei der elektrischen Parkbremse (EPB) nicht. Zudem verspricht die elektrische Feststellbremse eine Gewichtersparnis und trägt so zu einem verringerten CO<sub>2</sub>-Ausstoß bei. Nicht zuletzt spielt der Komfort eine Rolle: Es ist ein Unterschied, ob nur ein Knöpfchen zu drücken

oder aber ein eher schwergängiger Hebel anzuziehen ist.

Bei einer elektrischen Parkbremse sind die Bremsättel seitlich mit einer Antriebseinheit versehen, die sich auf der Hinterachse befindet, bestehend aus einem Gleichstrommotor und einem Aktuator. Dieser wird über den Schalter im Innenraum aktiviert und fährt eine mechanische Spindel aus, die die Bremsbeläge gegen die Bremsscheiben an beiden Hinterreifen presst und so die Bremse schließt. Sollte das Bordnetz ausfallen (zum Beispiel im Winter wegen niedriger Temperaturen), steht das Fahrzeug dennoch sicher, weil die EPB aufgrund der

mechanischen Spindel festgestellt ist. Das System ist somit auch kindersicher, denn solange die Zündung ausgeschaltet ist, lässt sich das Parksysteem nicht wieder aktivieren.

## Parkbremse muss absolut zuverlässig funktionieren

Die elektrische Parkbremse stellt also ein sicherheitsrelevantes System dar, das absolut zuverlässig funktionieren muss. Der Nutzer muss sich darauf verlassen können, dass das Bremssystem das Fahrzeug an abschüssiger Stelle hält. Um den zuverlässigen Betrieb auf Dauer sicherzu-

stellen, ist beim Betätigen eine Überwachung des Stromprofils vonnöten.

Dazu dient ein Shunt; er muss die Stromaufnahme des Aktuators beim Anziehen und Lösen der Bremse sehr genau überwachen, das heißt, das an dem Widerstand abfallende Spannungssignal an die Steuereinheit zurückmelden. In der Steuereinheit ist ein festes Stromprofil für den Anpressdruck der Bremse hinterlegt, das der Motor innerhalb bestimmter Grenzen immer abfahren muss. Der Shunt liefert das entsprechende Feedback, ob die Grenzen eingehalten werden. Würde der Motor beispielsweise einmal blockieren, würde die Steuereinheit ohne konkretes Feedback zum Stromprofil annehmen, dass die Bremsen angezogen wurden. Tatsächlich hätte jedoch nur der Motor blockiert und die Bremsbeläge befänden sich nicht an den Brems scheiben. Daher wird ein exaktes Feedback über den Motorstrom benötigt und das über die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs.

Ein Kunde der Isabellenhütte, ein namhafter Automobilzulieferer, nutzte bisher für seine EPB ein ISA-Plan-Bauteil und arbeitet aktuell am Redesign seiner Parkbremse, in die nun ein kleineres, kompakteres Bauteil integriert werden soll. Der Kunde entschied sich in der Auslegung des Shunts für den FMK-V-R005, Baugröße 1206, durch den der Platzverbrauch auf der Platine mehr als halbiert wird.

## Hauptanforderung: niedrige Gesamtabweichung

Die Hauptanforderung an den Stromsensor besteht in einer möglichst niedrigen Gesamtabweichung über Lebenszeit, das heißt, er muss über seine gesamte Einsatzdauer bei identischen Stromprofilen stets dasselbe Signal liefern. Erschwert wird dieser Umstand durch die Einsatztemperaturen, die innerhalb der beschriebenen Anwendung sehr hoch sind. An der Kontaktstelle des Bauteils können Temperaturen bis 135 °C auftreten. Dies ist auf zwei Faktoren zurückzuführen, zum einen auf die Eigenerwärmung des Bauteils beim aktiven Ausfahren der Bremse und zum anderen auf eine passive Erwärmung aufgrund des Bremsvorgangs an sich, weil sich die gesamte Einheit direkt am Bremsattel befindet. Die hohen Temperaturen können zu einer Belastung der im Shunt verwendeten Materialien und damit zu einer Abweichung der elektrischen Werte führen. Dieses Verhalten ist beim



**Bild 2:** Shunts aus der FMx-Reihe bestehen aus einer Vollmetallplatte der Widerstandslegierung und können aufgrund dieses massiven Aufbaus hohe Pulsenergien gut absorbieren und nach außen abführen. Bild: Isabellenhütte Heusler GmbH & Co. KG

FMK-V-R005 nur sehr schwach ausgeprägt – er weist eine geringe Drift und damit eine hohe Langzeitstabilität auf.

Die zweite zentrale Anforderung ist eine hohe Pulslastfähigkeit, sodass der Shunt die entstandene Wärme im Hotspot gut abführen kann und so für nur eine geringe Eigenerwärmung sorgt. Das Aktivieren der Parkbremse bedeutet hohe Pulsströme: einmal in dem Moment, in dem der Aktuator anfährt, und zum anderen in dem Moment, in dem die Bremse angezogen wird. Diese Pulse müssen schnell abgeführt werden, um das System nicht überhitzen zu lassen.

## Serie niederohmiger Widerstände

Mit der neuesten Widerstandsserie FMx stellt die Isabellenhütte niederohmige Bauteile zur Verfügung, die die Anforderungen noch besser erfüllen. Auf Basis der ISA-Plan-Technik war bei 5 mΩ bisher Schluss. Die FMx-Serie stellt mittels der Full-Metal-Technik, also einer Ausführung als Vollmetallplatte, auch Werte im Bereich von 6 bis 2 mΩ bereit. Als Ergänzung zur bewährten Folientechnik ISA-Plan, bei der eine Folie aus Isabellenhüttes hauseigenen Widerstandslegierungen mittels eines Klebers auf einem Trägermaterial wie Kupfer aufgebracht ist, punkten die FMx-Widerstände mit einem massiven Aufbau, bestehend aus einer Vollmetallplatte des Widerstandsmaterials. Im Anwendungsbeispiel soll als Stromsensor der FMK-V-R005, Baugröße 1206, zum Einsatz kommen, der aus der Widerstandslegierung Noventin gefertigt ist. Aufgrund der Platte aus Vollmaterial und des kleinen Wärmewiderstands ( $R_{thi}$ ) kann der FMK höhere Pulse und damit kurze Überbelastungen sehr gut vertragen. Mit den seitlichen Anschlüssen, bestehend aus einer Lage Kupfer und Zinn als Finishing, werden die Bauteile direkt

auf die Platine aufgelötet. Durch dieses Design wird ein besonders robuster Aufbau erreicht. Dies hilft, bei kurzen Pulsen die Energie aufzunehmen, im Material zwischenspeichern und dann in Form von Wärme über die Kontakte abzuführen. Noventin selbst weist dabei besonders gute Temperatureigenschaften auf; es ist extrem wärmestabil und verfügt über einen niedrigen Temperaturkoeffizienten. Aufgrund der Widerstandslegierung liegt das Bauteil bei einer Langzeitstabilität von nur 0,3% Abweichung bei einer maximalen Temperatur von 135 °C an der Kontaktstelle.

## Weitere Anwendungen im Automotive-Bereich

Für die Qualifizierung nach der Automobilnorm AEC-Q200 wurde die Langzeitstabilität bei einer Temperatur von 140 °C an der Kontaktstelle mit einer Dauer von über 2.000 Stunden geprüft, was ungefähr der Bauteillebensdauer entspricht. Die Drift lag dabei bei weniger als  $\pm 0,5\%$ . Entsprechend dieser Qualifikation sind Stromsensoren der FMx-Reihe aufgrund ihrer hohen Präzision über die gesamte Lebensdauer neben der elektrischen Parkbremse für zahlreiche weitere Automotive-Applikationen wie Lichtanwendungen, DC-DC-Wandler oder Assistenzsysteme geeignet. Auch in Industrieanwendungen mit BLDC-Motoren in Powertools oder im Consumer-Bereich bei Weißer Ware können die niederohmigen Shunts zum Einsatz kommen und zu bisherigen Lösungen eine deutliche Platzersparnis bieten. ■

### Kontakt

Isabellenhütte Heusler GmbH & Co. KG  
 35683 Dillenburg  
 Tel. (0 27 71) 9 34 – 0  
[info@isabellenhuette.de](mailto:info@isabellenhuette.de)  
[www.isabellenhuette.de](http://www.isabellenhuette.de)



**Bild 1:** Flexibel anpassbare Vakuumisulationspaneele lassen sich in bestehende Automobil-Designs integrieren. Foto: Va-Q-tec AG

Vakuumdämmung löst Reichweitenproblem von E-Autos

# Thermische Dämmung im Automobilbau

Im Winter stellt der Blick auf die Batterieanzeige ein Ärgernis für viele E-Auto-Fahrer dar. Die Reichweite sinkt bei kalten Temperaturen oft drastisch. Wohingegen Verbrennerautos Abwärme im Überfluss produzieren, belastet die Heizung in einem E-Auto die Antriebsbatterie – was zu Lasten der Reichweite geht. Ebenso wie das Kühlen mit Klimaanlage im Sommer. Wenn allerdings das E-Auto thermisch gut gedämmt ist, bleibt mehr Strom für die Strecke.

**TEXT:** Johannes Markel, Hendrik Feuerstein, Slava Thilmann

**D**ie Reichweite eines E-Autos gehört zu den wichtigsten Verkaufsargumenten. Damit steht die E-Mobilität vor der Herausforderung, die begrenzte Kapazität der Antriebsbatterie effizient zu nutzen – das gilt auch für Heizung und Klimatisierung. Im Gegensatz zu Benzin- und Dieselmotoren, deren Abwärme für das Heizen der Fahrerkabine genutzt wird, fehlt diese Option bei

elektrischen Antrieben. Batterien liefern keine nutzbare Abwärme. Vakuumdämmung, die sehr dünn ist und um ein Vielfaches besser dämmt als herkömmliche Dämmstoffe, ermöglicht es, E-Autos wesentlich effizienter zu klimatisieren.

In Deutschland gibt es rund 1,3 Millionen E-Autos (Stand 1.10.2023 [1]). Mit einer Vakuumdämmung in Türen, Dach und Heck können diese viel Energie für Heizung und Klimaanlage sparen und damit den Akku schonen. Praxistests bei

namhaften Herstellern und hauseigene Tests bei Va-Q-tec haben gezeigt, dass die Reichweite eines E-Fahrzeugs (beispielsweise BMW i3) mit Vakuumisulationspaneelen (VIP) bei sehr kalter Witterung (-15 °C) bis zu 45% erhöht werden kann. Dabei gilt, je niedriger die Außentemperatur und je wärmer die Heizung eingestellt ist, desto größer der Einspareffekt. Im Sommer und bei eingeschalteter Klimaanlage ist der Effekt vergleichbar groß. Zusätzlich dazu können die schlanken VIP



**Bild 2:** Die Wärmebildaufnahme eines mit Vakuumsulationspaneelen gedämmten Dachs zeigt den extrem niedrigen Wärmeverlust bei VIP 1 und VIP 2. Foto: Va-Q-tec AG

beim thermischen Management der Batterie helfen. Auch diese sollte gedämmt sein, denn eine zu kalte Batterie verliert ebenfalls an Leistung und damit das E-Auto an Reichweite.

## Thermische Dämmung bei Verbrennerautos

Die Abwärme von Verbrennungsmotoren wird bei niedrigen Außentemperaturen ins Wageninnere gelenkt. Bei höheren Außentemperaturen müssen Passagiere vor der Strahlungswärme des Motors geschützt werden. Das Hauptproblem liegt dabei in der Dosierung der richtigen Wärmemenge. Wärmeverlust ist bei Diesel- und Benzinmotoren kein großes Problem, weil genügend Wärme durch die „Ineffizienz“ des Verbrenners bereitgestellt wird. Im Vergleich zum Verbrauch eines Verbrennerfahrzeugs ist der zusätzliche Verbrauch durch Klimatisierung, ob für das Heizen oder Kühlen des Innenraums, gering oder gar nicht relevant. Eine automatische Klimaanlage, die den Wagen kühlt, verbraucht auf 100 km im Schnitt 0,36 l mehr Kraftstoff [2]. Bei einem durchschnittlichen Gesamtverbrauch von circa 5,5 l, fällt der Mehrverbrauch damit niedrig aus. Die thermische Dämmung des Innenraums herkömmlicher Fahrzeuge bringt so nur wenig Vorteile.

E-Autos müssen Wärme mit Hilfe der Batterie erzeugen. Wärme entsteht dabei nicht als „Abfallprodukt“, sondern durch zusätzlichen Energieaufwand: Der Innenraum, die Scheiben, eventuell auch die Sitze müssen mit elektrischer Energie aus der Antriebsbatterie beheizt werden. Wärmepumpen können die Energieeffizienz zwar

erhöhen – In jedem Fall muss aber der Verlust an Wärme durch schlechte Isolation mit erhöhtem Energieaufwand immer wieder ausgeglichen werden.

Im Sommer verursacht die Klimatisierung bei mangelhafter thermischer Dämmung ebenfalls einen hohen Energieaufwand. Der Innenraum wird durch Sonneneinstrahlung und Außenwärme aufgeheizt. Die Kühlung belastet die Batterie und reduziert damit abermals die Reichweite. Fahrzeuge mit thermisch schlechter Dämmung benötigen zur Aufrechterhaltung der Wohlfühltemperatur im Innenraum fortlaufend Energie. Eine gute thermische Dämmung des Autos dagegen wirkt wie bei einem Haus: energiesparend.

Im Winter bewegt sich der Mehrverbrauch eines E-Autos durch die Heizung zwischen 10 und 30 % [3]. Bei kurzen Strecken kann der zusätzliche Verbrauch auf 50 % ansteigen. Neben der hohen Heizenergie gibt es einen weiteren Grund für Reichweitenverluste im Winter. Die Elektrochemie des Akkus, der im Fahrzeugboden verbaut ist, funktioniert zwischen 20 und 40 °C am besten. In diesem Temperaturbereich kann er seine volle Energie-Kapazität entfalten [3]. Darum sollte bei niedrigen Temperaturen auch die Batterie gewärmt beziehungsweise gedämmt werden.

## Dämmung mit Vakuumsulation

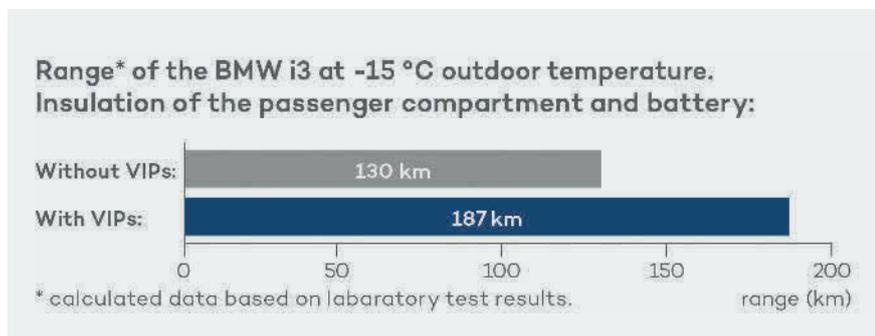
In Fahrzeugkarosserien ist kaum zusätzlicher Raum für Dämmung vorhanden. Das verwendete Material sollte optimal in bestehende Fahrzeugdesigns integriert werden können. Bei VIP wurde das Prinzip der Thermoskanne in die

Plattenform übertragen, das heißt innerhalb dieser Dämmplatten herrscht ein Vakuum und dementsprechend wird der Wärmeverlust auf ein Minimum reduziert. Die Technik ist damit die physikalisch beste Form der Dämmung. VIP sind hochwärmeisolierende Platten, die bei minimaler Dicke eine sonst nicht erreichbare, hohe Wärmedämmung bieten. Das bedeutet eine bis zu zehnfach höhere thermische Dämmleistung als konventionelle Dämmstoffe gleicher Dicke. Oder anders gesagt: 1 cm VIP-Isolierung ersetzen beispielsweise 10 cm Faser- oder Schaum-Dämmungen. Va-Q-tec ist Pionier dieser hochentwickelten Lösungen für thermische Energieeffizienz. Das Unternehmen entwickelt, produziert und vertreibt dünne, hocheffiziente Vakuumsulationspaneelen zur Dämmung in verschiedenen Anwendungsbereichen. Mit ihren flexiblen Formen können VIPs perfekt in bestehende Fahrzeugkonzepte integriert werden.

## Praxisbeispiel: Dämmung mit Vakuumsulation

E-Fahrzeuge können durch den Einsatz von Va-Q-tec's Hochleistungsdämmung energie-effizienter betrieben werden. Um dies zu zeigen, hat Va-Q-tec in die Karosserie eines serienmäßigen BMW i3 und um die Batterie Vakuumsulation eingebaut.

Das Projekt hat gezeigt, dass durch Isolierung mit VIPs der Energieverbrauch der Klimaanlage stark reduziert und damit die Reichweite signifikant gesteigert werden kann. Durch den Einsatz von VIPs können die Außen-



**Bild 3:** Reichweite des BMWi3 bei -15 °C mit und ohne Isolation der Fahrerkabine und Batterie. Grafik: Va-Q-tec AG

temperaturschwankungen besser kompensiert werden. Das führt ebenfalls zu einem geringeren Einsatz der Klimaanlage mit entsprechenden Effekten für Energiebedarf und Gesamtreichweite des Fahrzeugs. Die Dämmung der Batterie ermöglicht es dem Akku zusätzlich, seine volle Kapazität zu entfalten. Die Reichweite des i3 bei -15 °C Außentemperatur konnte so von 130 km auf 187 km gesteigert werden. Dies entspricht einer enormen Verbesserung von +44 %.

Aktuell wird viel Forschung und Entwicklung in neue Batterietechniken investiert, um die Energiedichte und damit die Reichweite von E-Autos zu er-

höhen. Thermische Dämmung von E-Fahrzeugen findet bisher wenig Beachtung, obwohl dies bei allen Außentemperaturen jenseits der Wohlfühltemperatur von circa 21 °C sinnvoll wäre. Warum ist das so?

Die Reichweiten-Angaben von E-Autos beruhen auf theoretischen Berechnungen, bei denen die Kapazität der Batterie ins Verhältnis zum angegebenen Stromverbrauch des E-Motors gesetzt wird. Eine praxisnähere Berechnung der Reichweite, die auch den Stromverbrauch durch Heizen und Kühlen berücksichtigt, findet regelmäßig nicht statt. Unter diesen Bedingungen ist eine bessere thermische Dämmung anhand

der anzugebenden Reichweite eines E-Fahrzeugs nicht erkennbar. Autofahrer, die in der Praxis erleben, dass ihre Fahrzeuge an die so berechneten Reichweiten nur selten herankommen, werden enttäuscht. Gute thermische Dämmung würde an dieser Stelle zu zufriedeneren E-Auto-Kunden führen und viel wertvolle Energie einsparen. ■

**Literatur**

- [1] Statista: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/265995/umfrage/anzahl-der-elektroautos-in-deutschland/>
- [2] ADAC: Verbrauchen Auto-Klimaanlagen mehr Sprit? [https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/ausstattung/auto-klimaanlagen/Abgerufen am 28.11.2023](https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/ausstattung/auto-klimaanlagen/Abgerufen%20am%2028.11.2023)
- [3] ADAC: Elektroauto im Winter: So massiv sinkt die Reichweite bei Kälte. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/elektroauto-reichweite-winter/>, abgerufen am 28.11.2023

**INNOVATIONSÖKOSYSTEM FÜR DIE FAHRZEUGE DER ZUKUNFT**

Ob Auto oder Lkw: Die Fahrzeuge der Zukunft werden autonom, elektrisch, vernetzt und serviceorientiert sein. Dazu müssen Hardware und Software sorgfältig aufeinander abgestimmt und die gesamte Wertschöpfungskette einbezogen werden. Das von der EU geförderte Koordinierungsprojekt Federate hat nach Angaben der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH die Aufgabe, dafür alle relevanten Interessengruppen zusammenzubringen, begleitende Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsaktivitäten zu orchestrieren und so die Entwicklung von softwaredefinierten Fahrzeugen zu beschleunigen. Ziel des Projekts ist es, wie es weiter heißt, mit allen Beteiligten von der Automobil- und der Halbleiterindustrie über die wissenschaftliche Gemeinschaft bis hin zu Verbänden und Politik ein „Software-Defined Vehicle of the Future“ (SDVoF)-Ökosystem aufzubauen. Die Projektpartner werden den Angaben zufolge auf ein gemeinsames Verständnis von Software und Hardware im Fahrzeug hinarbeiten, eine gemeinsame Vision für das Software-Defined-Vehicle (SDV)-Programm entwickeln und koordinierte Beratung für laufende und zukünftige Projekte anbieten.

Das Konsortium umfasst 29 Partner aus sieben Ländern, darunter Automobilhersteller und -zulieferer, Halbleiterunternehmen, einschlägige Industrieverbände und industrielle SDV-Initiativen. Das Projekt wird zudem von einem wissenschaftlichen Beirat sowie Software/Hardware-Governance-Gruppen unterstützt.

Koordiniert wird Federate von dem Mobilitäts-Technologieunternehmen AVL List GmbH gemeinsam mit der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH (VDI/VDE-IT). Die VDI/VDE-IT organisiert unter anderem Konferenzen und Workshops, um relevante Stakeholder zusammenzubringen. [www.federate-sdv.eu](http://www.federate-sdv.eu)



**Johannes Markel**  
ist Senior Business Development Manager Mobility



**Hendrik Feuerstein**,  
ist Business Development Manager North America



**Slava Thilmann**,  
ist Product Development Engineer

va-Q-tec AG  
97080 Würzburg  
[johannes.markel@va-q-tec.com](mailto:johannes.markel@va-q-tec.com)  
[hendrik.feuerstein@va-q-tec.com](mailto:hendrik.feuerstein@va-q-tec.com)  
[slava.thilmann@va-q-tec.com](mailto:slava.thilmann@va-q-tec.com)  
[www.va-q-tec.com](http://www.va-q-tec.com)  
Fotos: va-Q-tec AG



Die Getriebe PLQE040 und PLFE055 erweitern die Economy-Baureihen PLQE und PLFE um kleinere Baugrößen. Foto: Neugart GmbH

## Getriebebaureihe um kleine Baugrößen erweitert

Neugart reagiert auf den Wunsch vieler Maschinenbauer nach kompakteren, leichteren Servoantrieben mit zwei passenden Getrieben: Die Neuentwicklungen PLQE040 und PLFE055 erweitern die Economy-Baureihen PLQE und PLFE um kleinere Baugrößen und runden das Portfolio damit nach unten ab.

Das PLQE040 in Baugröße 040 ergänzt die Economy-Planetengetriebe-Baureihe PLQE, für die nun insgesamt vier Baugrößen zwischen 040 und 120 zur Auswahl stehen. Das neue Getriebe hat einen abtriebsseitigen Zentrierbunddurchmesser von 35 mm. Es kann, je nach Übersetzung, Nenndrehmomente bis zu 20 Nm übertragen. Die Gesamtlänge des Getriebes einschließlich Adapter beträgt 9 cm, je nach gewähltem Motoradapter. Wie bei allen PLQE-Getrieben ermöglicht auch beim PLQE040 der quadratische Abtriebsflansch die Montage an der Anlage ohne Zwischenadapter. Das neue PLQE-Getriebe verfügt über Rillenkugellager an der Abtriebswelle, sodass dort noch erhebliche Radialkräfte bis zu 390 N aufgenommen werden können. Es wird mit 24 unterschiedlichen Übersetzungen von  $i=3$  bis  $i=512$  angeboten und ist sowohl mit glatter Abtriebswelle als auch mit Passfederwelle verfügbar.

Mit dem neuen PLFE055 bietet nun auch die Economy-Flanschgetriebe Baureihe PLFE vier Baugrößen, beginnend mit 055. Die Neuheit ist 1- und 2-strufig sowie mit Übersetzungen von  $i=3$  bis  $i=100$  verfügbar. Der Zentrierbunddurchmesser beträgt 5,5 cm und es können, je nach Übersetzung, Drehmomente von bis zu 32 Nm übertragen werden.

Der Stützabstand der abtriebsseitigen Rillenkugellager entspricht weitgehend dem größeren Modell PLFE064, sodass das PLFE055 nahezu die gleichen Radialkräfte und Kippmomente aufnehmen kann. Aufgrund seiner Flansch-Schnittstelle ist es einfach zu montieren.

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

## Kugelgewindetriebe für elektrische Spritzgießmaschinen

Mit der Serie HTF-SRM hat NSK eine neue Baureihe von Kugelgewindetrieben für Hochlast-Anwendungen entwickelt, die sich durch die Eignung für sehr hohe Geschwindigkeiten und erhöhte Temperaturen auszeichnet.

Wie NSK ausführt, wünschen sich die Hersteller von elektrischen Spritzgießmaschinen hochbelastbare Kugelgewindetriebe, die sowohl höhere Zyklusgeschwindigkeiten als auch das Produzieren besonders dünnwandiger Bauteile ermöglichen. Diese Herausforderung hat NSK nach eigenen Angaben mit der Entwicklung des SRM (Smooth Return Metal Coupling)-Rückführsystems gemeistert. Das SRM-Kugelumlaufsystem, das mit Hilfe des Digitalen Zwillings entwickelt wurde, zeichne sich durch einen optimierten, reibungslosen Kugelumlauf und ein erhöhtes Temperaturfenster aus. Unterstützt werde diese Entwicklung durch die Verwendung von hitzebeständigen Materialien für die Dichtungen und das Schmiermittel. Aufgrund dieser Konstruktionsmerkmale liegt der zulässige dN-Wert (Spindeldurchmesser x Drehzahl) der Baureihe HTF-SRM bei 200.000, was einer 40%igen Verbesserung im Vergleich dem bisherigen Top-Standard der NSK-Hochgeschwindigkeits-Kugelgewindetriebe, der Baureihe HTF-SRC, entspricht. Zugleich wurde die maximale Betriebstemperatur um 20 % erhöht. Sie liegt bei 90 °C oder 100 °C (dauerhaft/ kurzzeitig). Damit erreicht die neue Baureihe sowohl bei der Geschwindigkeit als auch bei der Hitzebeständigkeit die branchenweit höchsten Werte, führt NSK aus.

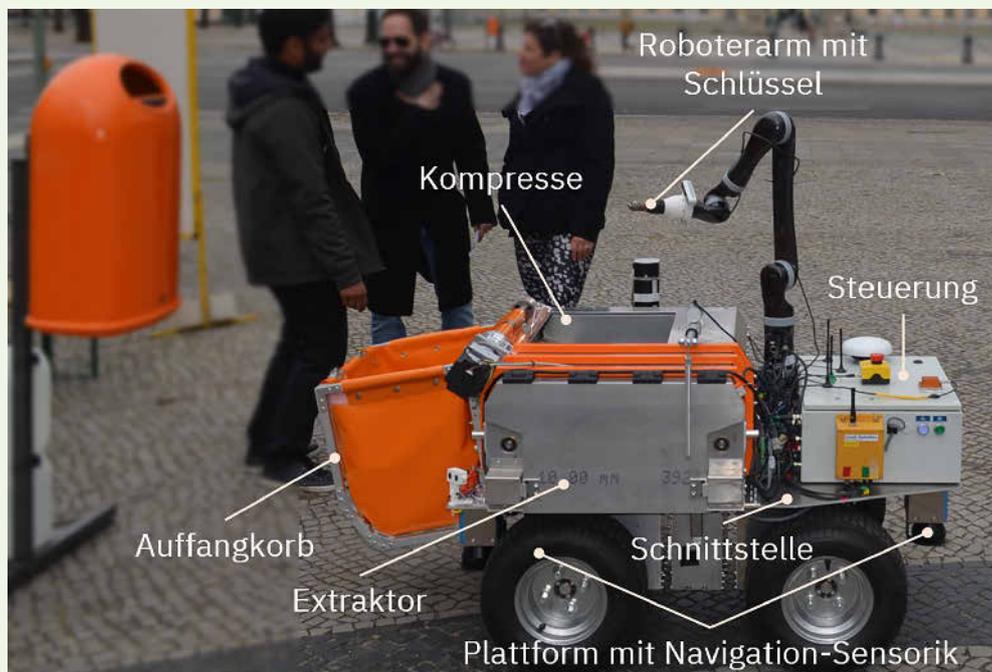
Ein weiterer Vorteil: Die neuen Kugelgewindetriebe eignen sich auch zur Nachrüstung oder Leistungssteigerung vorhandener Maschinenbaureihen, weil die Außenabmessungen von Spindel und Mutter denen der Baureihe HTF-SRC entsprechen.

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



Die HTF-SRM-Kugelgewindetriebe wurden für Hochgeschwindigkeits-Anwendungen und den Einsatz bei hohen Temperaturen entwickelt. Foto: NSK

# Entwicklung nachhaltiger Produkte am Beispiel autonomer urbaner Serviceroboter



**Bild 1:** Funktionaler Prototyp von MURMEL bei Einsatztests in Berlin. Foto: Verfasser

Service-Roboter und künstliche Intelligenz (KI) verändern zunehmend die Art und Weise, wie wir mit Technologie interagieren. Jede Art von Automation bringt einen tiefgreifenden Wandel mit sich. Neu ist in diesem Zusammenhang, dass zukünftige Roboter nicht mehr nur in der Fertigung oder in abgeschirmten und begrenzten Bereichen zum Einsatz kommen, sondern in der Öffentlichkeit operieren. Am Fachgebiet Methoden der Produktentwicklung und Mechatronik der Technischen Universität Berlin untersuchen wir am Beispiel des Projekts MURMEL (Mobiler Urbaner Roboter zur Müll-Eimer Leerung) nicht nur, wie ein Serviceroboter die Abfallwirtschaft in Großstädten verbessern kann, sondern auch wie ein zukünftiges System aus Robotern und intelligenter Infrastruktur in Bezug auf Nachhaltigkeit einzuordnen ist. Neben der funktionalen Entwicklung des Prototyps zur Machbarkeitsdemonstration analysieren

wir daher bereits in der frühen Phase der Produktentstehung alle drei Dimensionen, die ökologische, die ökonomische und die soziale Nachhaltigkeit:

## Funktionaler Prototyp

Der Entwicklungsprozess des Prototyps orientierte sich an den VDI-Richtlinien 2221 und 2206. MURMEL wurde auf Basis einer modularen Produktarchitektur entwickelt [1]. Wir nutzen eine mobile Plattform des Herstellers Innok [2] mit Batterie-elektrischem Antrieb und Sensorik für die Navigation. MURMEL navigiert autonom zu Mülleimern mithilfe von Lidar, Ultraschallsensoren, GPS und Tiefenkameras. Ein Roboterarm, ebenfalls mit einer Tiefenkamera bestückt, erkennt und öffnet Mülleimer, der Müll wird in einen drehbaren Auffangkorb gesammelt und in einer Längspresse verdichtet. Ein Extraktor entfernt den verdichteten Müll. Die erforderliche Software wurde komplett Rahmen des Projekts auf Basis von

ROS entwickelt. Abbildung 1 zeigt den funktionalen Prototyp bei Funktionstests in Berlin. Für die Integration von MURMEL in den Müllentsorgungsprozess wurde ein „Mutterschiff-Konzept“ entwickelt. In einem Hilfsfahrzeug (Mutterschiff) wird der komprimierte Müll gesammelt und es werden, falls notwendig, Batteriewechsel von einem Service-Mitarbeiter durchgeführt. Ferner überwacht der Operator den reibungslosen Betrieb einer Flotten von Servicerobotern.

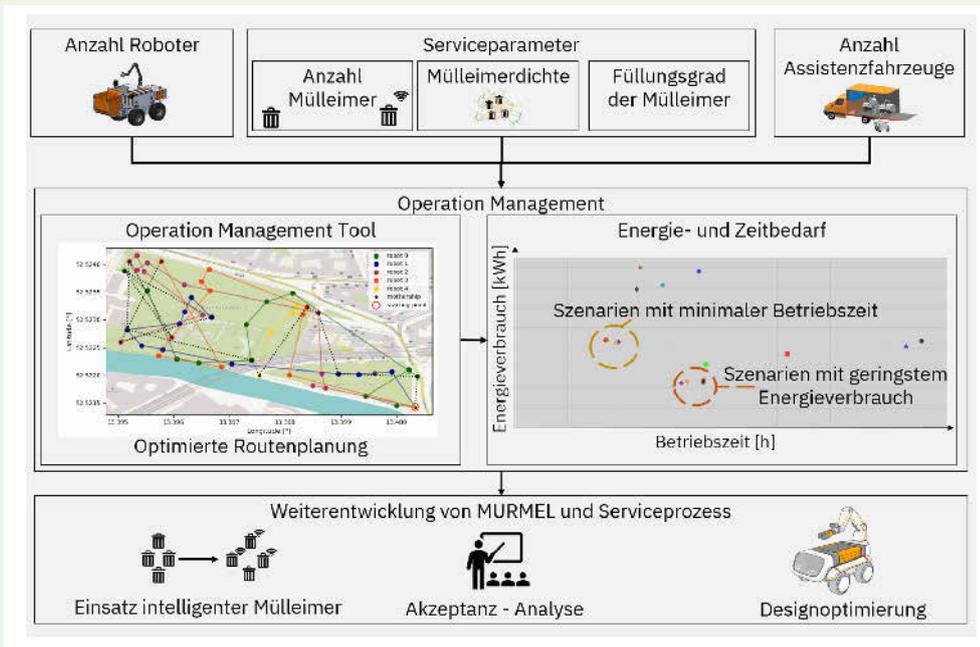
## Ökologische Nachhaltigkeit

Für die ökologische Bewertung des Prototyps und des Prozesses wurde eine vollständige Lebenszyklusanalyse (LCA) mit dem Programm openLCA durchgeführt [3]. 18 ReCiPe-Indikatoren messen ökologische Auswirkungen, basierend auf definierten Anforderungen und Projektzielen [4]. Die Produktionsphase wurde anhand der CAD-Daten und der Stückliste

des Prototyps mit der Datenbank Ecoinvent 3.8 und einer detaillierten Materialflussanalyse untersucht. Für unterschiedliche Sammelbezirke in Berlin wurden Prozesssimulationen durchgeführt und es wurden die Energiebedarfe sowohl für die Service Roboter als auch für das Mutterschiff ermittelt. Gegenüber dem bisherigen Prozess, Müllwerker entleeren die Papierkörbe manuell und transportieren den Müll zu dieselmotorisch betriebenen Sammelfahrzeugen, ergeben sich erhebliche Unterschiede. Im bisherigen Prozess dominieren die Emissionen der Dieselfahrzeuge, während im komplett elektrifizierten Prozess mit MURMEL-Robotern die Emissionen aus der Produktionsphase stark ins Gewicht fallen. In Summe fallen gegenüber dem bisherigen Prozess ca. 50% weniger Treibhausgase an.

## Ökonomische Nachhaltigkeit

Die ökonomische Bewertung erfolgte mittels Life Cycle Costing (LCC). Basierend auf dem vorhandenen Prototyp und CAD Modellen wurden zahlreiche Verbesserungen konzipiert, die in ein zukünftiges Serienprodukt Service-Roboter einfließen werden. Dadurch können sowohl die Herstellungs- als auch die wartungs- und Instandhaltungskosten verringert werden. Ferner wurden die Kosten für Software-Entwicklungen sowohl für die Roboter als auch für ein zukünftiges „Operation Management Tool“ (siehe Abbildung2) abgeschätzt. Die Betriebskosten des Gesamtsystems, bestehend aus Robotern, Assistenzfahrzeugen, und gegebenenfalls „intelligenten Mülleimern“, wurden auf



**Bild 2:** Routenplanung, Betriebsmanagement und Folgeprozesse. Grafik: Verfasser

Basis von umfangreichen Prozesssimulationen ermittelt und mit dem bisherigen Betrieb verglichen. Große Unsicherheiten bestehen dabei allerdings noch bei den zukünftigen Personalkosten.

## Soziale Nachhaltigkeit

Im MURMEL-Projekt wird die soziale Nachhaltigkeit anhand einer eigens entwickelten Methodik analysiert, da bisher keine geeigneten Bewertungsmethoden für die soziale Dimension verfügbar waren [5]. Der Fokus liegt auf der Analyse sozialer Einflüsse und Risiken im frühen Entwicklungsstadium. Die Umfeld- und Funktionsanalyse identifizierte die relevanten Stakeholder-Gruppen: Neben der direkten Arbeitsumgebung auch der öffentliche urbane Raum mit Anwohnern und Passanten. Die soziale Einfluss- und Risikoanalyse erfolgt anhand von zehn Indikatoren, die die Auswirkungen auf die Arbeit, Qualität der Arbeitsplätze, periphere Effekte und Zugang/Gleichberechtigung umfassen. Die Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz autonomer Systeme wie MURMEL für die Arbeitskräfte Herausforderungen aber auch

potenziell positive Effekte mit sich bringen. Die Einführung autonomer Systeme im öffentlichen Raum erfordert eine sorgfältige Bewertung ethischer Fragen und potenzieller sozialer Auswirkungen. Daher schlagen wir vor, die Bewertung der sozialen Nachhaltigkeit in den Entwicklungsprozess autonomer Systeme zu integrieren [3].

## Soziale Akzeptanz

Die soziale Akzeptanz des MURMEL-Projekts wurde durch Interviews mit Passanten (Bild 1) und Mitarbeitern der Berliner Stadtreinigungsbetriebe (BSR) durchgeführt. Bei den Passanten gab es zwar kritische Stimmen hinsichtlich Funktionalität und Design aber nur in sehr wenigen Fällen „grundsätzliche Ablehnung“. Bei der BSR wurde die geringe Arbeitsgeschwindigkeit des Roboters kritisiert. Es wird darauf vertraut, dass ein zugelassener Roboter alle Sicherheitsstandards einhält. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der BSR stehen neuen Tätigkeitsprofilen (Systemüberwachung, Batteriewechsel, Wartung etc.) positiv gegenüber. Auch hier wurde Kritik am Design geübt und es

wurden Sorgen hinsichtlich der technischen Komplexität und hinsichtlich möglicher Arbeitsplatzverluste geäußert.

## Betriebsmanagement

Für MURMEL und die Assistenzinfrastruktur wird ein Betriebsmanagementsystem entworfen (Bild 2). Es unterstützt den Betrieb in verschiedenen Service-szenarien mit unterschiedlichen Merkmalen (z. B. Anzahl und Füllgrad der Müllimer). Relevante Parameter wie die Anzahl der Roboter, Mutterschiffe und die Attribute des Servicebereichs, inklusive der Unterscheidung zwischen konventionellen und intelligenten Müllimern mit Füllstandsdaten werden berücksichtigt. Algorithmen für Aufgabenverteilung und Routenplanung simulieren und analysieren Szenarien basierend auf Kriterien wie minimalem Energieverbrauch und Betriebszeit [6]. Das Betriebsmanagementsystem nutzt maschinelles Lernen zur Vorhersage des Müllimerfüllstands. Auf der Basis umfangreicher Datenerhebungen aus einem Berliner Servicebereich wurden relevante Parameter (Müllimerdichte, Wetter, Events in der Stadt) ermittelt. Damit

wird eine Vorhersage der Müllimerfüllstände ermöglicht. Eine Strategie, die die Entleerung von Müllimern mit weniger als 25% Füllstand vermeidet, führt zu einer erheblichen Reduktion des Energieverbrauchs (ca. 30%) und der Betriebszeit (ca. 25%). In einem nächsten Schritt sind Testphasen im „Echtbetrieb“ in wenig frequentierten Bereichen Berlins geplant. Danksagung: Projekt „MURMEL“ wurde im Berliner Programm für Nachhaltige Entwicklung (BENE) aus Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung und des Landes Berlin gefördert (Förderkennzeichen 1247-B5-O).

## Literatur

- [1] Göhlich, D., Syré, A.M., and et al. (2022), "Design Methodologies for Sustainable Mobility Systems", in Design Methodology for Future Products, Springer, Cham, pp. 123–144.
- [2] Innok Robotics GmbH, "Innok robotics: Mobile innovation," (2023). [Online]. Available: <https://www.innok-robotics.de/>
- [3] van der Schoor, M.J. and Göhlich, D. (2023), "Integrating sustainability in the design process of urban service robots", Frontiers in Robotics and AI, Vol. 10, p. 1250697.
- [4] Huijbregts, M. A., Steinmann, Z. J., and et al. (2017), ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. The International Journal of Life Cycle Assessment, 22, 138–147.
- [5] Kohl, J.L., van der Schoor, M.J., Syré, A.M. and Göhlich, D. (2020), "Social Sustainability in the Development of Service Robots", Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference, Vol. 1, pp. 1949–1958.
- [6] Gupta, A., van der Schoor, M.J. and et al. (2022), "Autonomous Service Robots for Urban Waste Management – Multiagent Route Planning and Cooperative Operation", IEEE Robotics and Automation Letters, Vol. 7 No. 4, pp. 8972–8979.

Prof. Dr.-Ing. **Dietmar Göhlich**  
**Abhishek Gupta**, M.Sc.  
 Fachgebiet Methoden der Produktentwicklung und Mechatronik  
 Technische Universität Berlin



Baugruppe im Rahmen eines Suchvorgangs ermittelt werden, sondern die Suche muss in jedem einzelnen IT-System getrennt und gemäß der IT-Systeme und deren Datenmodell spezifischen Suchlogik durchgeführt werden (siehe gestrichelte Pfeile in **Bild 1(a)**). Das heißt, dass die mangelnde Verknüpfung der Datenstrukturen und -modelle zwischen den einzelnen IT-Systemen zu einem hohen Aufwand bei der Suche und Nutzung aller bauteil- oder baugruppenbezogenen Daten führt. Dies kann signifikante Kosten zur Folge haben, die z. B. aus ungelösten Qualitätsproblemen im Produktionsprozess resultieren. [3]

Der „Part-Centric“-Ansatz ermöglicht eine integrierte und effiziente Suche über alle relevanten Daten eines Bauteils oder einer Baugruppe, ohne dass die Suche in jedem einzelnen IT-System separat durchgeführt werden muss. Bestehende, meist lokale Lösungsansätze in einzelnen Abteilungen werden so in eine neue Komplettlösung integriert ohne Redundanzen der Daten zu schaffen.

Außerdem führen zwischen den IT-Systemen entkoppelte Datenstrukturen und -modelle häufig zu einem IT-System-spezifischen Änderungsmanagement für Produktdaten wie der geometrischen Produktdefinition (3D-CAD-Modell, 2D-Zeichnung) und der zugehörigen Artikelstammsätze im PDM-/PLM-System. Ein Änderungsmanagement, das separat für jedes lokale IT-System durchgeführt wird, führt zu Unsicherheiten bezüglich der Aktualität der Produktdaten. Diese Unsicherheit wiederum führt zu langen Such- und Bearbeitungszeiten, was die Qualität und damit die Gesamtzufriedenheit beim Anwender mindert. [4] [5].

Mittels des „Part-Centric“-Ansatzes kann ein einheitliches und konsistentes Änderungsmanagement umgesetzt werden, das die Unsicherheiten hinsichtlich der Verlässlichkeit und Aktualität der Beschreibungsdaten eliminiert. Der „Part-Centric“-Ansatz ermöglicht durch seine durchgängige Verknüpfung aller bauteil- und baugruppenrelevanten Daten/Dokumente mit den virtuellen Repräsentanten des betreffenden Bauteils eine signifikante Aufwandssenkung für deren Suche und Nutzung [6]. Hierbei dienen die virtuellen Repräsentanten eines Bauteils bzw. einer Baugruppe als digitale „Sammler“ für alle dazu anfallenden Daten, die mithilfe von Datenstrukturen verknüpft werden (**Bild 1 (b)**).

Damit ermöglichen die, auf logischen Verknüpfungen basierenden „Part-Centric“-Datenstrukturen vom Functional- über das Manufacturing- bis zum Physical-Part eine effiziente Umsetzung von Instandhaltungs- und Servicemaßnahmen und tragen somit zu einer hohen Verfügbarkeit und zu geringen Stillstandszeiten von Investitionsgütern bei. Diese wiederum fördern eine hohe Kundenzufriedenheit [7] und den Erwerb anderer Produkte (Cross-Selling) sowie die positive Kommunikation am Markt [8].

Zudem verbessert die artikelzentrierte („Part-Centric“) Datenverwaltung die Prozesssicherheit bei der Transformation von der 2D-Zeichnung basierten Arbeitsweise hin zu einer 3D-CAD-Modell basierten Arbeitsweise [9], da durch die Integration mithilfe von relationalen Datenstrukturen Datenredundanzen auf ein Minimum reduziert werden können. Bestehende Strukturen in der Dokumentenverwaltung werden zum „Functional-Part“ verknüpft und so integriert.

In Bezug auf die Konzepte des Digitalen Zwillings, des Digitalen Abbildes und des Digitalen Masters [10] kann der „Part-Centric“-Ansatz als eine integrale Methode zur Strukturierung und Organisation von Daten verstanden werden. Der Ansatz basiert darauf, dass Daten nicht nur auf Produkt- oder Systemebene ge-

sammelt und analysiert werden, sondern auch auf Teile- oder Komponentenebene und zusätzlich miteinander verknüpft werden, was eine genauere Modellierung und Vorhersage des Systemverhaltens ermöglicht. Das „Part-Centric“-Konzept ist somit eine Methode zur Datenorganisation oder zur Datenmodellierung innerhalb der größeren Struktur eines Digitalen Zwillings, Digitalen Abbildes oder Digitalen Masters. Diese „Bauteil-zentrierten“ Daten können so in den Daten-Strukturierungs-Modellen verknüpft verwendet werden, um eine genauere Darstellung und Analyse des Gesamtdatensystems zu ermöglichen.

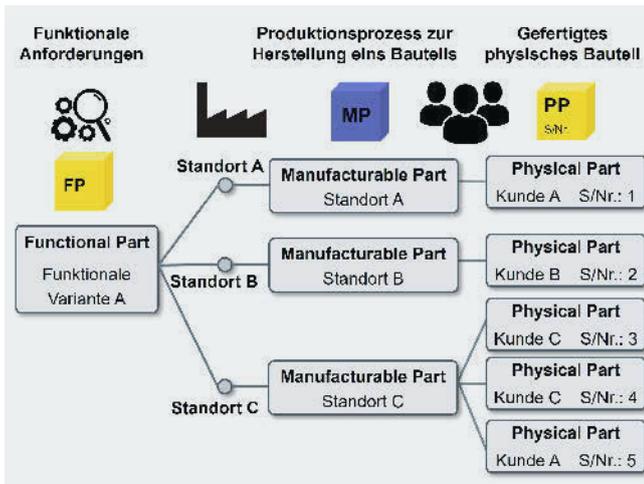
Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass aktuelle Ansätze zur Datenstrukturierung durchaus existieren. Diese traditionellen Methoden konzentrieren sich jedoch überwiegend auf die Organisation von Daten auf Produkt- oder Systemebene. Sie bieten nicht die tiefe granulare Ebene der Datenverknüpfung und Modellierung, die der „Part-Centric“-Ansatz ermöglicht. Zudem sind viele dieser bestehenden Ansätze aufgrund ihrer linearen und segmentierten Strukturen oft weniger flexibel und adaptierbar, insbesondere in heterogenen IT-Umgebungen. Dies kann zu suboptimalen Suchergebnissen und ineffizienten Datenverarbeitungsmechanismen führen. Daher lässt sich postulieren, dass gegenwärtige Ansätze zur Datenstrukturierung für moderne Anforderungen, insbesondere im Kontext von Serviceorientierung, unzureichend sind. Dieser Mangel an Effizienz und Granularität in traditionellen Methoden unterstreicht die Bedeutung und Notwendigkeit des „Part-Centric“-Ansatzes.“

Bisher singular existierende Datenablagen/Strukturen in PDM-/PLM-, ERP- oder MES-Systemen werden zum jeweiligen Entwicklungsstand der Bauteile/Baugruppen miteinander verknüpft und die Daten damit integriert.

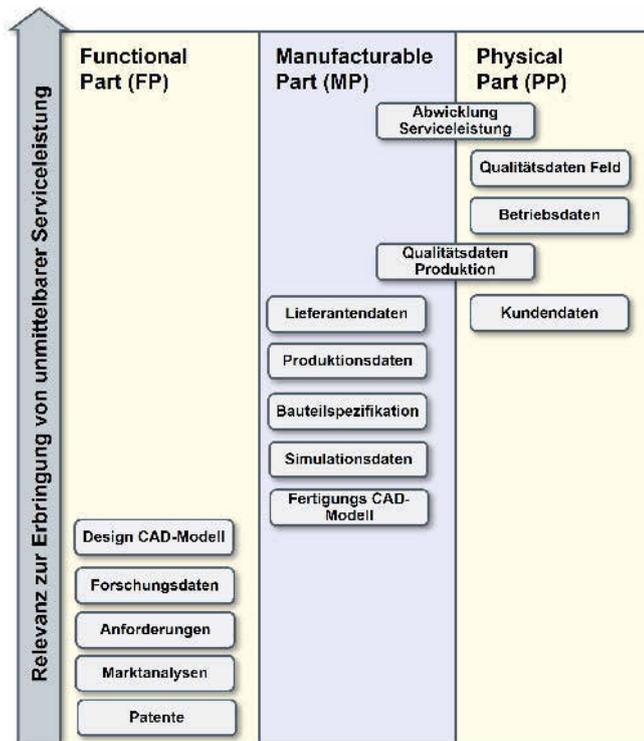
### Aufbau einer Part Logik zur beschleunigten Datenrecherche und einfacheren Fehlerursachenanalyse

Während in der Entwicklung von Produkten der Fokus auf den funktionalen Eigenschaften und Zusammenhängen liegt, liegt in der Produktionsplanung das Augenmerk auf den fertigungs- oder montagetechnischen Aspekten. Im Service oder in der Kundenbetreuung betrachten Anwender meist ein physisch gefertigtes Bauteil/Produkt, das sich einem Kunden zuordnen lässt und das im Laufe seiner Nutzung z. B. beschädigt werden kann. Außerdem können Bauteile, die die gleichen funktionalen Anforderungen erfüllen, in verschiedenen Ausprägungen realisiert werden, z. B. bei einer standortspezifischen Ausprägung des Fertigungsprozesses. Damit besteht eine 1:n-Beziehung zwischen den funktionalen Anforderungen an ein Bauteil und den Fertigungsprozessen zur Herstellung des Bauteils (z. B. Arbeitsplan) sowie den schließlich gefertigten physischen Bauteilen (**Bild 2**).

Als „Functional Part“ (**FP**) wird ein Objekt innerhalb eines PDM-/PLM-Systems bezeichnet, an welchem sämtliche funktionalen Informationen definiert werden. Die Daten, die mit einem FP verknüpft werden, fallen hauptsächlich im Produktentwicklungsprozess an. Hierzu zählen u. a. Patente, Marktanalysen und daraus abgeleitete funktionale Anforderungen in Form von 3D-CAD-Definitionen oder den davon abgeleiteten 2D-Zeichnungen sowie Stücklisten. Es können unterschiedliche Ausprägungen der Fertigungsprozesse für ein **FP** gewählt werden, z. B. immer aber eine standortspezifische Gestaltung des Fertigungsprozesses, daher besitzt ein FP ein oder mehrere „Manufacturable Parts“ (im Folgenden: **MP**). Es existiert somit eine 1:n-Bezie-



**Bild 2.** Verknüpfte Part-Genealogie eines „Part-Centric“-Datenkonzepts mit 1:n-Beziehungen zwischen den Parts *Grafik: Autoren*



**Bild 3.** Datenfelder eines serviceorientierten Unternehmens mit zugehörigen beispielhaften Datenentitäten, die den unterschiedlichen Parts FP, MP und PP einer „Part-Centric“ Datenstruktur zugeordnet sind *Grafik: Autoren*

hing zwischen FP und MP. Das MP wird seinerseits mit sämtlichen konstruktions- und produktionsrelevanten Daten wie Arbeitsvorgangs-CAD-, CAE- und CAM-Modellen, Arbeitsplänen oder digitale Mockups verknüpft. Die Bauteile erhalten im Zuge ihrer Fertigung konkrete, physische Repräsentanten mit eigenen Serialnummern und individuellen „Lebensläufen“. Für die vollständige Umsetzung des „Part“-Konzeptes ist eine Zuordnung dieser konkreten, physischen Bauteile zu einem eigenen virtuellen Part, dem „Physical Part“ (im Folgenden: **PP**), erforderlich. Dies erfolgt heute meist in MES-Systemen. Dabei bekommt jedes dieser PP zur Identifikation eine individuelle Seriennummer (ID). Die Nutzung der Seriennummer ermöglicht den Aufbau einer „Pa-

tientenakte“ für jedes Bauteil. Durch die 1:n-Beziehungen zwischen den Parts FP, MP und PP wird eine lückenlose Identifikation aller definierenden Daten ermöglicht. Dadurch gibt es keine Datenredundanzen (wie z. B. durch Datenmigrationen von einem IT-System zum nächsten) und der Verwaltungsaufwand wird drastisch reduziert. (siehe Bild 2) [11].

Der „Part-Centric“-Ansatz ermöglicht eine integrierte und effiziente Suche über alle relevanten Daten eines Bauteils oder einer Baugruppe, ohne dass die Suche in jedem einzelnen IT-System separat durchgeführt werden muss. Dadurch wird das Wissen über die beschreibenden Daten von den „Köpfen“ der Mitarbeiter in die Verknüpfungen zu den FP-, MP- und PP-Objekten verlagert. (siehe Bild 1)

## 2 Datenanalyse

Im Rahmen einer Datenanalyse zu den ausgelieferten Produkten eines Unternehmens, deren Fokus auf dem Servicegeschäft der Industrieprodukte liegt, werden Datenfelder und die zugehörigen wichtigsten Datenentitäten und Dokumente gesichtet (siehe Bild 3). Horizontal sind die Datenfelder den drei Part-Instanzen FP, MP und PP zugeordnet. Vertikal werden in Bild 3 die Informationen nach ihrer unmittelbaren Relevanz für den Service gegliedert. Die Bewertung der unmittelbaren Servicerelevanz basiert hierbei auf einer Befragung von Servicemitarbeitern. Die Anwendung der drei Part-Instanzen FP, MP und PP (siehe Bild 3) wird im Folgenden mithilfe von zwei Anwendungsbeispielen beschrieben.

### Beispiel 1: Wartungs- und Instandhaltungsanleitungen

Wartungs- und Instandhaltungsanleitungen werden meist nicht kundenspezifisch verfasst. Diese Informationen können dementsprechend für mehrere PP gültig sein und sind mit dem zugrundeliegenden MP verknüpft. Serviceanleitungen bzw. -anweisungen, die speziell für Kundenkonfigurationen eines Produktes gelten, werden direkt dem einzelnen PP zugeordnet.

### Beispiel 2: Qualitätsdaten aus Fertigung und Montage

Qualitätsdokumente wie Prüfpläne, die im Rahmen einer Fehler- Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA) oder Q-Prüfung genutzt werden, beziehen sich auf das MP, während sich z. B. Prüfstanddaten oder einzelne Messwerte konkret auf ein PP beziehen. So werden z. B. im Falle einer 100 %-Prüfung der Oberflächenhärte die einzelnen Messwerte dem jeweiligen PP zugeordnet.

Zur Zuordnung der Dokument- und Datenklassen zu den einzelnen Parts (FP, MP, PP) wird ein mehrstufiges, methodisches Vorgehen angewendet. Dabei werden zunächst die vorhandenen (oft schon z. B. in Dateiodnern strukturierten) Daten und Dokumente in einer umfassenden Bestandsaufnahme erfasst und kategorisiert. Darauf schließt sich eine Analyse zur Ermittlung der direkten und indirekten Beziehungen zwischen den einzelnen Daten und Dokumenten sowie den neuen Parts an. Dieses Wissen ist meist nur in den Köpfen der Experten gespeichert und daher wird diese Analyse mittels qualitativen Interviews mit verschiedenen Fachexperten aus den Bereichen Service, Produktion und Entwicklung sowie einer tiefgreifenden Untersuchung der Dokumentation der jeweiligen Produktlebenszyklen durchgeführt. An-

schließlich werden die ermittelten Beziehungen in einer Matrix abgebildet, um eine visuelle Darstellung der Zusammenhänge zu erhalten. Basierend auf dieser Matrix können schließlich die jeweiligen Daten und Dokumentenklassen den Parts (FP, MP und PP) zugeordnet werden. Zur Sicherstellung der Genauigkeit und generalisierten Anwendbarkeit dieses Modells werden die Befragungen in mehreren Iterationsschleifen wiederholt, verfeinert und die Ergebnisse validiert.

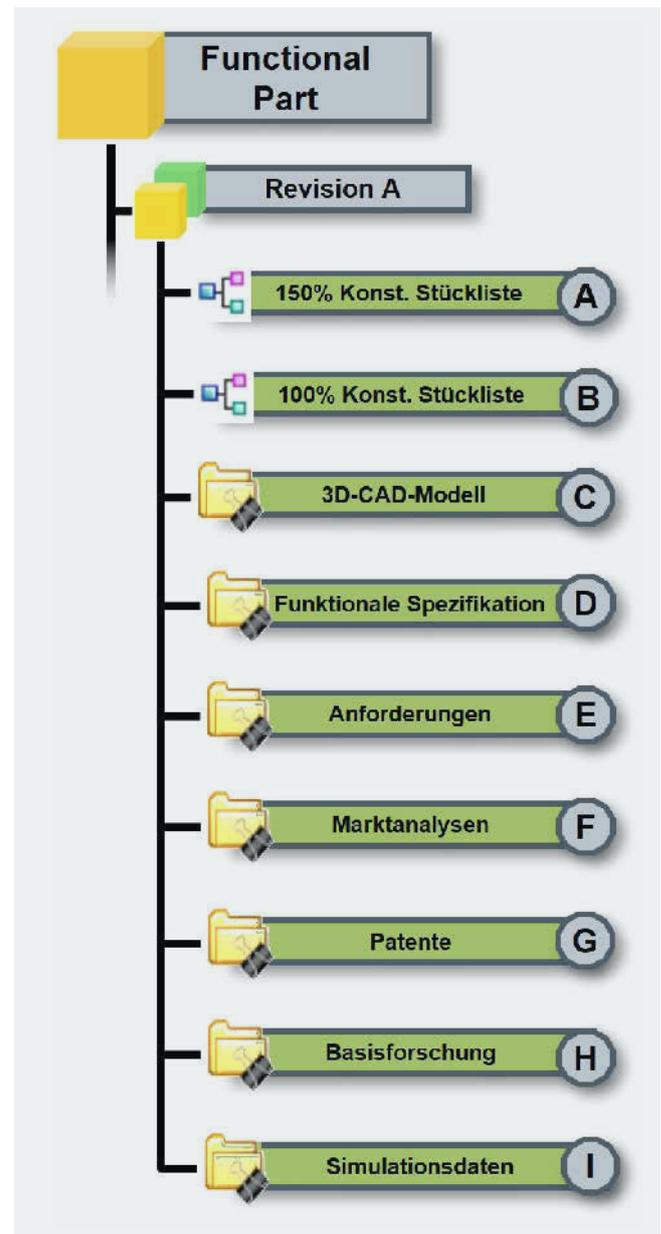
Die Implementierung der „Part-Centric“ Logik in einer PDM-/ERP-/MES-Architektur oder in einer IT-System-übergreifenden „Middleware“ stellt eine effiziente Lösung für die Datenintegration in heterogenen IT-Systemlandschaften dar. Während die Verknüpfung auf der PDM-/ERP-/MES-Ebene bestehende IT-Lösungen integriert arbeiten „Middleware-Ansätze“ auf Basis der Propagation von Informationen aus diesen Systemen in eine übergeordnete IT-Ebene. Beide Vorgehen ermöglichen es, die Daten aus unterschiedlichen IT-Systemen auf Part-Ebene zu organisieren und verfügbar zu machen. In der Praxis bedeutet dies, dass die IT-Architektur die Funktion eines „Datenhubs“ übernimmt, indem sie Informationen aus den verknüpften IT-Systemen abrufen und diese in der beschriebenen Part-Logik als FP, MP und PP aggregiert. Im Kontext von Product-Service-Systemen wird oftmals die Rolle von übergeordneten Systemen diskutiert, die häufig als Ontologien charakterisiert werden. Ontologien bieten eine formale Darstellung von Wissen durch Konzepte für Objektverknüpfungen in einem spezifischen Bereich und skizzieren die Beziehungen zwischen diesen Objekten. Der in diesem Paper vorgestellte PDM-/ERP-/MES-, bzw. Middleware-Ansatz unterscheidet sich grundlegend von solchen ontologischen Modellen. Während Ontologien darauf abzielen, Wissen und Beziehungen zwischen Objekten zu repräsentieren, dienen die hier beschriebenen Ansätze primär der Kommunikation und Datenübertragung zwischen verschiedenen IT-Systemen und den darin verwalteten Objekten. Insbesondere die hier beschriebene „Middleware“ bezieht sich auf eine IT-System-übergreifende Schicht, die Daten aus unterschiedlichen Systemen konsolidiert und in der definierten Part-Logik organisiert. Somit repräsentiert die Middleware nicht eine Ontologie im traditionellen Sinne, sondern eine technische Implementierung zur Datenintegration.

### 3 Anwendungsspezifische Dokumentenklassifizierungen

Ein konventionelles Klassifizierungssystem gliedert betriebliche Objekte in sogenannte Objektklassen [12]. Dadurch ist jedoch keine Klassifizierung der zu einem Part zugehörigen Dokumente gegeben. Um ein einfaches und schnelles Wiederauffinden von Daten z. B. für den Servicefall zu gewährleisten, muss zusätzlich eine Dokumentenklassifizierung, die die zu einem Part zugehörigen Dokumente anwendungsgerecht gliedert, vorhanden sein. Im folgenden Abschnitt werden, auf Basis der Datenanalyse (siehe Abs. 2), anwendungsspezifische Dokumentenklassifizierungen entwickelt und beschrieben.

#### Daten- und Dokumentenklassen des Functional Part

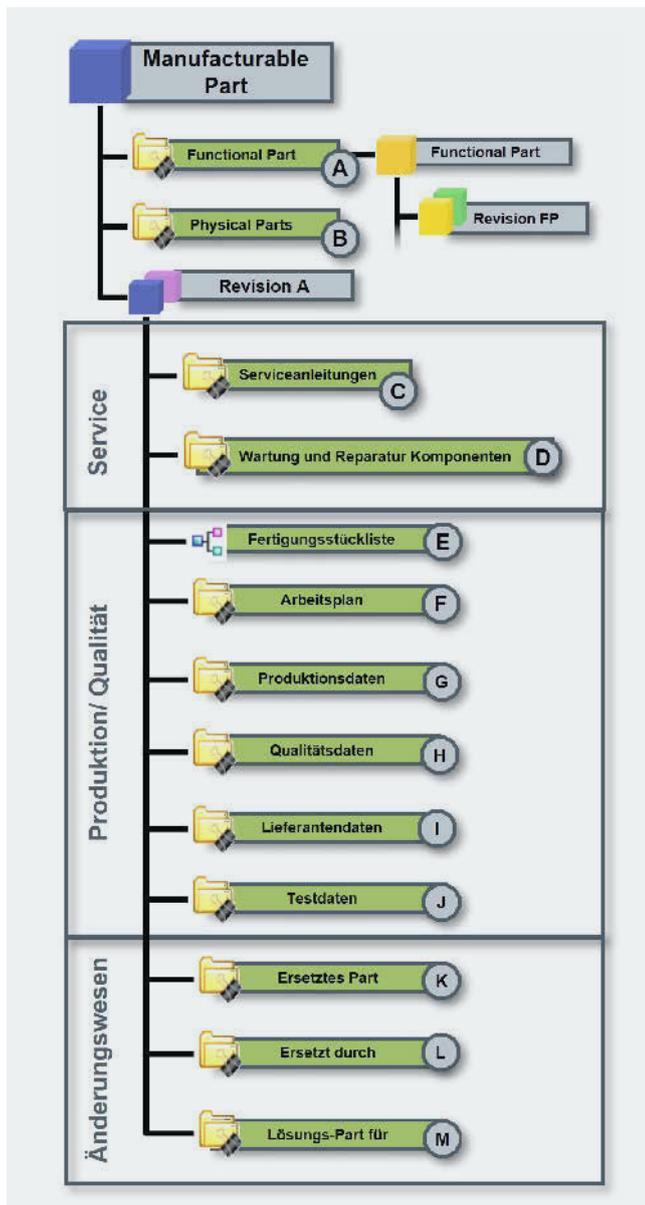
In **Bild 4** sind die Daten- und Dokumentenklassen eines FP abgebildet. Handelt es sich bei dem FP um eine Baugruppe, so existiert eine 150 % Konstruktionsstückliste, die sogenannten 150 % EBOM (siehe Bild 4 (A)). Die 150 % EBOM ist die funk-



**Bild 4.** Daten- und Dokumentenklassifizierung für Dokumente, die mit einem „Functional Part“ (FP) assoziiert sind *Grafik: Autoren*

tional gegliederte Stückliste der Baugruppe bzw. des Produkts und bildet sämtliche Varianten der Baugruppe bzw. des Produkts ab. Aus ihr lassen sich konkrete Ausprägungen in Form von einer 100 % EBOM ableiten (siehe Bild 4 (B)).

Außerdem ist die geometrische Spezifikation in Form eines 3D-CAD-Modells und ggf. ergänzenden Zeichnungen mit dem Funktional Part verknüpft (siehe Bild 4 (C)). „Funktionale Spezifikation“ (siehe Bild 4 (D)) beinhaltet grundlegende Informationen, die zu Beginn einer Produktentwicklung auf Basis der Anforderungen und einer ggf. vorliegenden Marktanalyse entstehen. Veränderungen aus der Marktsituation oder aus dem Kundenfeedback führen dazu, dass die funktionalen Anforderungen des Produkts überarbeitet werden müssen, was eine Revision des FP zur Folge hat. Diese Revision beeinflusst dann die MPs und PPs, die auf der Grundlage des überarbeiteten FP erstellt werden. „Anforderungen“ (siehe Bild 4 (E)) enthalten Informationen



**Bild 5.** Daten- und Dokumentenklassifizierung zur Klassifizierung der mit einem „Manufacturable Part“ (MP) assoziierten Dokumente *Grafik: Autoren*

über die erforderlichen Fähigkeiten bzw. Funktionen des Parts (Produkts). Als Sammelpunkt für sämtliche Erfindungsmeldungen und Patente wird die Daten- und Dokumentenklasse „Patente“ am FP eingeführt. Innerhalb der Daten- und Dokumentenklasse „Basisforschung“ (siehe Bild 4 (H)) finden sich grundlegende Forschungsergebnisse wie z. B. Werkstoffuntersuchungen oder -prüfungen. Die damit einhergehenden Simulationen befinden sich in der Klasse „Simulationsdaten“.

### Daten- und Dokumentenklassen des Manufacturable Part

Ein Ergebnis der Datenanalyse (siehe Abs. 2) besteht darin, dass die Vermischung von Daten aus unterschiedlichen Anwendungsbereichen ein maßgeblicher Faktor für den hohen Zeitaufwand während der Produktdatenrecherche ist. Daher werden auf Basis der ermittelten Datenfelder (siehe Bild 3) drei anwen-

dungsbezogene Sichten auf die Daten- und Dokumentenklassen für das MP entwickelt (siehe Bild 5).

Übergeordnet ist vom MP eine Verlinkung zum zugehörigen FP vorhanden (siehe Bild 5 (A)). Darunter befindet sich eine Verlinkung zu jeglichen vom MP abgeleiteten PP (siehe Bild 5 (B)).

Die Service-Sicht (siehe Bild 5 (C-D)) enthält Daten und Dokumente, die zur Erbringung von direkten Serviceleistungen erforderlich sind und sich nicht auf individuelle PPs beziehen. Dies sind z. B. Daten, die Informationen zum Vorgehen bei Wartungen, Reparaturen und Instandhaltungsmaßnahmen beinhalten.

In der Produktions- und Qualitäts-Sicht auf das MP (Bild 5 (E-J)) werden Produktionsdaten dokumentiert und kommentiert. Diese Produktionsdaten beeinflussen und optimieren die Produktionsprozesse. Die Sicht des Produktions- bzw. Montageplaners auf die Stückliste ist in der Fertigungsstückliste abgebildet.

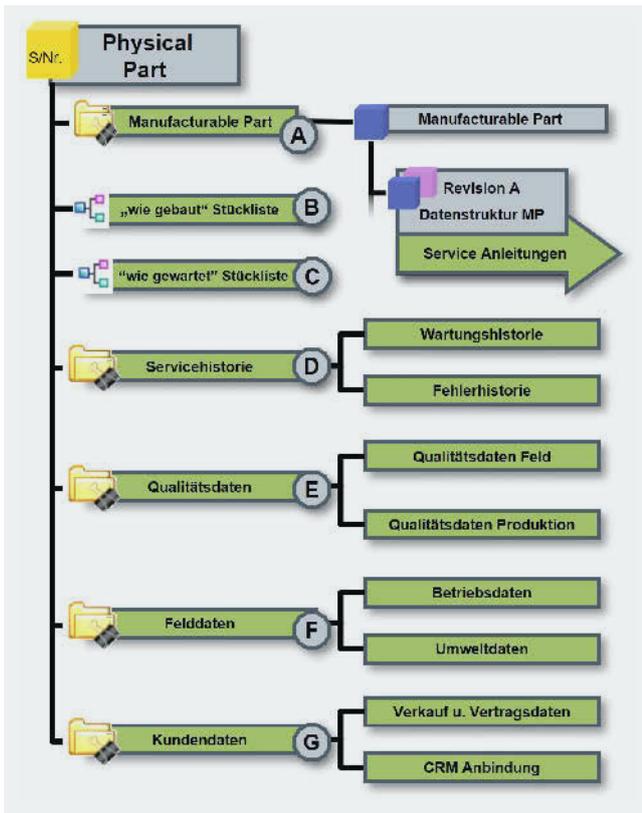
Diese leitet sich von der 100 %-EBOM (FP) ab und besteht aus denselben Bestandteilen, aber in einer anderen Struktur. Sie ist nach Gesichtspunkten der Montage gegliedert und bildet den Ausgangspunkt zur Ableitung von agilen Montageplänen. Da die Methode auf Grundlage einer PDM-/PLM-zentrierte Datenverwaltung entwickelt wird, liegt an dieser Stelle ein Datenübertrag zum verwendeten ERP-System vor, wo notwendige betriebswirtschaftlichen Prozesse abgebildet sind. Die Daten- und Dokumentenklasse „Arbeitsplan“ beinhaltet sämtliche Arbeitsschritte und zugehörige alternativen Schritte zur Fertigung bzw. der Montage des MP. „Produktionsdaten“ sind spezifische Daten wie z. B. Steuerungsdaten, Fertigungshilfsmittel und CAM-Modelle. Die Daten- und Dokumentenklasse „Qualitätsdaten“ liegt sowohl im MP als auch im PP vor. Die Qualitätsdaten des MP beinhalten z. B. Ergebnisse einer FMEA oder universell geltende Qualitätsspezifikationen wie z. B. Prüfpläne für die Montage oder Fertigung. Dagegen werden die Qualitätsdaten (Messdaten), die sich z. B. als Ergebnisse aus einer 100 %-Prüfung der Oberflächenhärte der konkreten physischen Teile ergeben, dem jeweiligen PP zugeordnet. „Lieferantendaten“ beinhalten detaillierte Informationen der einzelnen Lieferanten. Darunter fallen auch lieferantenspezifische Qualitätsprotokolle, Zertifizierungsnachweise sowie Informationen zum Zahlungsablauf. Die Klasse „Testdaten“ dient der Verwaltung jeglicher Testdaten während der Produktion und ist inhaltlich eng mit der Klasse „Qualitätsdaten“ verbunden.

Die Änderungsmanagement-Sicht auf das MP (Bild 5 (K-M)) ermöglicht die Dokumentation eines transparenten Änderungsverlaufs mit detaillierten Angaben über technische Änderungen, Änderungszeiten sowie Informationen über Vorgänger- und Nachfolgebauteile bzw. -produkte sowie den Bezug aus dem Manufacturing-Change-Management zum Engineering-Change-Management des FP.

### Daten- und Dokumentenklassen des Physical Part

**Bild 6** zeigt die Daten- und Dokumentenklassifizierung für ein PP. Das PP ist der Ausgangspunkt für eine Produktdatenrecherche zu einer bestimmten Serial-Nr. eines Bauteils/einer Baugruppe im Servicefall. Die entwickelten Daten- und Dokumentenklassen verfolgen das Ziel, möglichst schnell relevante Servicedaten verfügbar zu machen.

Übergeordnet ist vom PP eine Verlinkung zum zugehörigen MP vorhanden (siehe Bild 6 (A)). Die „wie gebaut“ Stückliste gibt die Struktur des PP wieder. Die „wie geartet“ Stückliste beinhaltet die Historie der montierten Komponenten und die aktuelle



**Bild 6.** Daten- und Dokumentenklassifizierung für Dokumente, die mit einem „Physical Part“ (PP) assoziiert sind *Grafik: Autoren*

Produktstruktur im Feld. Dies ist für den Service von elementarer Bedeutung, da eindeutig reproduzierbar sein muss, welcher bauliche Zustand im Feld vorliegt. Die Daten- und Dokumentenklasse „Servicehistorie“ (siehe Bild 6 (D)) beinhaltet eine transparente Darstellung der Historie aller Serviceeinsätze (deren Dokumentationen) im Feld. Darunter fallen sämtliche Fehlermeldungen inklusive deren technische Lösungen, die bisher im Feld umgesetzt sind. In der Daten- und Dokumentenklasse „Qualitätsdaten“ (siehe Bild 6 (E)) finden sich sämtliche Qualitätsdaten, die konkret für das jeweilige serialisierte Bauteil gelten. Werden in der Fertigung nicht nur Chargenprüfungen durchgeführt, sondern auch einzelnen Bauteile und -gruppen geprüft, können so serialisierten Bauteilen und -gruppen konkrete Qualitätsinformationen wie z. B. Prüfstanddaten, Befunde, Schweißaufzeichnungen oder Härteprüfungen zugeordnet werden.

Die Datenklassen „Felddaten“ und „Kundendaten“ (siehe Bild 6 (F-G)) finden primär bei PPs von kompletten Produkten Anwendung, da sie Daten beinhalten, die aus deren Betrieb (z. B. Einstellendaten oder Verbrauchsdaten) entstehen.

## 4 Fazit

Zur Digitalisierung des oft auf einzelne Experten verteilte Wissen über die Beschreibung der Bauteile und Baugruppe in der Entwicklung, Produktionsplanung und physikalischen Fertigung bzw. Montage wird in diesem Artikel konzeptionell eine Part-Logik vorgestellt. Diese Part-Logik optimiert die Datenverwaltung, indem sie eine integrative Verknüpfung aller Bauteil-/bzw. Baugruppen bezogenen Daten ermöglicht. Dabei werden drei unterschiedliche virtuelle Repräsentanten eines Bauteils oder Produkts, die als anwen-

dungsbezogene, datentechnische Sichten fungieren definiert. Durch ihre Verknüpfung in einem PDM-/PLM-Ansatz bzw. in einer übergeordneten „IT-Middleware“ wird eine effiziente „Bauteilgenealogie“ (d. h. Historie des Objekts) geschaffen. Diese stellt sicher, dass sämtliche Daten über den Produktlebenszyklus hinweg in verknüpfter Form abrufbar sind und sich somit Zustände bis zur Entwicklung der Bauteile bzw. Produkte zurückverfolgen lassen. Die identifizierten und davon betroffenen Repräsentanten im Feld werden gezielt über ihre Seriennummer identifiziert. Zudem werden anwendungsorientiert Daten- und Dokumentenklassifizierungen für die verschiedenen „Parts“ festgelegt, um eine schnelle Dokumentenrecherche für Mitarbeiter unterschiedlicher Fachdisziplinen zu ermöglichen. Diese verknüpften Daten tragen wesentlich zur Vereinfachung der Rückverfolgbarkeit von Fehlern bei und steigern durch die effektive Instandhaltung und Serviceleistungen die Kundenzufriedenheit und -bindung. Es zeigt sich, dass das Part-Centric-Konzept eine effektive Lösung zur Verbesserung der Prozesssicherheit und des Datenmanagements darstellt. ■

## Literatur

- [1] Reichheld, S.: Zero-Migration: Dienstleister im Sog der Qualitätsrevolution 1991.
- [2] Vajna, S.; Weber, C.; Zeman, K. et al.: Cax für Ingenieure, 3rd 3., Vollst. Neu Bearb. Aufl. 2 ed. Berlin 2018.
- [3] Jahn, M.: Ein Weg zu Industrie 4.0. Geschäftsmodell für Produktion und After Sales. Berlin, Boston 2016.
- [4] Kumar, P.; Kalwani, M. U.; Dada, M.: The Impact of Waiting Time Guarantees on Customers' Waiting Experiences. In: Marketing Science 16 (1997) 4, S. 295–314.
- [5] Bruhn, M.; Stauss, B. (Hrsg.): Dienstleistungsqualität. Konzepte – Methoden – Erfahrungen. Wiesbaden 2000.
- [6] Günthner, W.; Borrmann, A.: Digitale Baustelle- innovativer Planen, effizienter Ausführen. Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert. Berlin, Heidelberg 2011.
- [7] Davis, M. M.; Heineke, J.: Understanding the Roles of the Customer and the Operation for Better Queue Management. In: International Journal of Operations & Production Management 14 (1994) 5, S. 21–34.
- [8] Faullant, R.: Psychologische Determinanten der Kundenzufriedenheit, 1. Aufl. s.l. 2007.
- [9] Neubert, S. Dr.; Robl, P.: 3D-CAD-Modelle lenken die Fertigung. In: VDI-Z Integrierte Produktion (2018) 04–2018.
- [10] Kirchhof, R.: Ganzheitliches Komplexitätsmanagement. Grundlagen und Methodik des Umgangs mit Komplexität im Unternehmen, Gabler Edition Wissenschaft. Wiesbaden 2003.
- [11] Saske, B.; Schwach, S.; Paetzold, K. et al.: Digitale Abbilder als Basis Digitaler Zwillinge im Anlagenbau: Besonderheiten, Herausforderungen und Lösungsansätze. In: Industrie 4.0 Management 2022 (2022) 5, S. 21–24.
- [12] Eigner, M.; Stelzer, R.: Product Lifecycle Management. Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management, 2., neu bearb. Aufl. Dordrecht 2013



**Jonathan Leidich**, M. Sc.  
Research Scientist, Siemens AG

Foto: J. Leidich

**Dr. Sebastian Neubert**  
Operations Officer H2 Projects, Siemens Energy AG

**Patrick Kunz**,  
Senior Specialist PLM, Siemens Energy AG

**Dr. Peter Robl**  
Head of Research Group, Siemens AG

Kontakt:  
Siemens AG – T AMC DMT-DE, 81739 München



Sensorbasierte Track-and-Trace-Systemlösungen für eine Vielzahl von Anwendungsfeldern in der Intralogistik zeigt Sick auf der Logimat. Foto: Sick

## Track-and-Trace mit Ident Gate System

Als Reaktion auf den Fachkräftemangel und das Lieferkettensorgfaltsgesetz, hat Sick nach eigenen Angaben das Ident Gate System entwickelt, welches auf der Logimat vorgestellt wird. Wie Sick ausführt, liefert das Portal für jede Anforderung die passende Lösung. Der modulare Ansatz ermöglicht es, Techniken flexibel miteinander zu kombinieren. Außer einer leistungsstarken 2D-Matrixkamera für 1D- beziehungsweise 2D-Code-Lesung und Bildaufnahme für Archivierungszwecke, bestehe die Option für einen RFID-Reader am Ident Gate System, der eine Pulklesung bei hoher Dichte an Datenträgern ermöglicht. Ergänzend zu der Warenidentifikation sei mittels weiterer Sensoren auch die Messung des Volumens und des Überstands der Ladung sowie die Ladungsträgerklassifizierung und -zählung möglich. Die gesammelten Informationen können darüber hinaus mit der Vorgabe eines übergeordneten Enterprise Resource Planning (ERP)-Systems abgeglichen werden. Hinzu kommt der Grund der Warenbewegung, wie die Verladung, Entladung, der Werkverkehr oder auch der innerbetriebliche Transport.

Diese Informationen erfüllen damit die grundlegenden Track-and-Trace-Anforderungen, die sich aus dem Lieferkettengesetz ableiten. Aufgrund der genauen Positionsbestimmung sowie weiterer Details schaffen sie lückenlose Transparenz in der Logistik- und Lieferkette des Unternehmens. Damit besteht die Möglichkeit, diese weiter zu optimieren und Fehler, zum Beispiel Fehlverladungen, effektiv zu vermeiden, so Sick weiter.

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

## Zweireihiges Hochgeschwindigkeitskugellager

THK stellt mit dem Hochgeschwindigkeitskugellager BWH ein hochsteifes zweireihiges Schrägkugellager vor. Aufgrund des Einsatzes eines Käfigs im Schrägkugellager BWH laufen die Kugeln gleichmäßig ausgerichtet. Neben besseren Laufeigenschaften bei hoher Geschwindigkeit bietet das Kugellager im Vergleich zu Rollenlagern eine stabile und gleichmäßige Bewegung bei geringerer Wärmeentwicklung. Seine zweireihige Konfiguration ermöglichte eine gleichmäßige Verteilung der radialen und axialen Lasten, wodurch die Tragfähigkeit erhöht und die Lebensdauer der Maschine verlängert werde.

Weil das Lager werksseitig mit einer entsprechenden Vorspannung geliefert wird, ist das Einstellen der Vorspannung nicht erforderlich, führt THK aus. Dazu ermöglichen die Befestigungsbohrungen am Innen- und Außenring des Lagers eine einfache Montage ohne spezielle Haltebleche.

Zurzeit umfasst die Serie BWH Baugrößen mit Innendurchmessern von 100, 120 und 200 mm, wobei zeitnah geplant ist, Modelle mit größeren Durchmessern hinzuzufügen.

Drehlager mit Rollen als Wälzelemente werden seit Jahren in Anwendungen wie Drehtische für Bearbeitungszentren, Gelenke für Industrieroboter und Untersetzungsgetriebe eingesetzt.

Mit der Neuentwicklung reagiert THK nach eigenen Angaben auf Forderungen nach leistungsfähigeren Drehlagern, um gestiegenen Ansprüchen gerecht zu werden. [www.thk.com](http://www.thk.com)



Aufbau des Schrägkugellagers BWH. Foto: THK

## Neue Baugrößen des modularen Antriebssystems

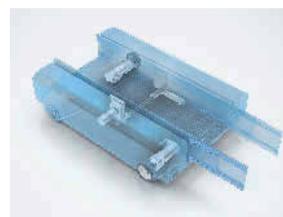
Ebm-papst zeigt auf der Logimat in Stuttgart neue Baugrößen seines modularen Antriebssystems. Zusätzlich zu den etablierten Baugrößen ECI 42 und ECI 63 mit verschiedenen integrierten Elektronik und Schnittstellen, ist den Angaben zufolge auch die Baugröße ECI 80 verfügbar.

Die BLDC-Antriebe in Schutzkleinspannung haben eine Nennleistung bis 750W. Diese kompakten Antriebe sind in einem robusten Aluminiumgehäuse untergebracht und erfüllen standardmäßig die Anforderungen an die Schutzart IP54. Zum modularen Antriebssystem gehören auch verschiedene Planetengetriebe mit unterschiedli-

chen Untersetzungen sowie Encoder- und Bremsmodule.

In der Intralogistik werden die ECI-Antriebe der Baugröße ECI 80 in Kombination mit Optimax-Planetengetrieben vor allem bei Shuttle-Anwendungen, aber auch in Förder-, Lager- und Sortiersystemen eingesetzt.

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



ECI-Antriebe der Baugröße ECI 80 für den Einsatz als Shuttle-Fahrertrieb. Foto: ebm-papst



Sensodrive unterstützt ein Forschungsprojekt der TU München und der Universität Regensburg mit Simulator-Produkten. Foto: Michaela Gabes, Universität Regensburg

## IM FAHRSIMULATOR ANGSTSTÖRUNGEN HINTER SICH LASSEN

Fahrangst – die sogenannte Amaxophobie – gehört in Deutschland zu den am weitesten verbreiteten Phobien. Es wird vermutet, dass mehrere Millionen Deutsche betroffen sind und teilweise schon allein vom Gedanken an eine bevorstehende Fahrt Angstzustände bekommen. Der Lehrstuhl für Klinische Psychologie und Psychotherapie an der Universität Regensburg forscht mithilfe von Virtual Reality und interaktiven Simulatoren, um Angststörungen zu erforschen und Therapieansätze zu entwickeln. Für ein derartiges Forschungsprojekt im Bereich Amaxophobie haben die Regensburger Forscher in Kooperation mit der Technischen Hochschule München (TUM) einen Fahr Simulator entwickelt. Dort können die Probanden gefahrlos realistischen Fahrsituationen ausgesetzt werden (Expositionstherapie). Diese Methode hat sich als sehr effektiv erwiesen und ist außerdem für Patienten sehr attraktiv.

Als eines der weltweit führenden Unternehmen im Bereich Simulator-Technik unterstützt Sensodrive regelmäßig Hochschulen und Forschungsprojekte. Auch in diesem Fall hat das Unternehmen sich als Forschungspartner engagiert und den beteiligten Forschenden für ihr Projekt einige hochwertigen Simulator-Produkte zur Verfügung gestellt. Ein Senso-Wheel SD-LC Force-Feedback-Lenkrad und drei Senso-Pedal Simulator-Pedale sorgen nun mit hochpräzisiertem haptischem Feedback dafür, dass die „Fahrer“ im Simulator das Gefühl bekommen, in einem echten Auto zu fahren.

Um valide Forschungsergebnisse zu erzielen, ist es für die Forschenden besonders wichtig, dass der entwickelte Fahr Simulator den Probanden ein absolut realistisches Fahrgefühl vermittelt. Mit dem Senso-Wheel SD-LC konnte Sensodrive nach eigenen Angaben das technisch führende Force-Feedback Lenkrad des Marktes bereitstellen. Mit einem extrem hochauflösenden Encoder, exzellenter Regelungstechnik und einem State-of-the-Art-Motor garantiert es ein enorm realitätsnahes Force-Feedback sowie ein absolut rippelloses Fahrgefühl – optimal für die besonders anspruchsvolle Simulator-Anwendung, bei der maximale Präzision und Realitätsnähe gefragt ist.

Auch bei den Pedalen für den Fahr Simulator konnte das Unternehmen eine Lösung bieten. Die zur Verfügung gestellten Senso-Pedale sind besonders robuste Simulator-Pedale, die sich individuell an die jeweiligen Kraft- und Weg-Anforderungen anpassen lassen. Mit einer Kraftmessdose (Load Cell) am Bremspedal ermöglichen sie präzise Kraftmessungen unabhängig von der Pedalbewegung und liefern ein außerordentlich realistisches haptisches Feedback.

Sensodrive hat sich auf die Entwicklung von Force-Feedback-Systemen, Drehmomentensensoren und Robotik-Antrieben mit integrierter Drehmomentmessung und -regelung spezialisiert. Als Ausgründung aus dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) ist das Unternehmen seit 2003 mit patentierten Drehmomentensensoren für die MRK-Robotik am Markt. [www.sensodrive.de](http://www.sensodrive.de)

## Führen und Führen trainieren

Bedarf es erst einer Pandemie, einer Naturkatastrophe oder eines Krieges mitten in Europa, um auf drastische Weise zu erfahren, dass Führungskräfte auf allen Ebenen vielfach eines nicht sind: dafür ausgebildet? Nein, diese Erkenntnis ist alles andere als neu. In Unternehmen, Verwaltungen, Verbänden und zahlreichen anderen Organisationen werden immer wieder Personen zu Führungskräften ernannt, ohne eine entsprechende Ausbildung erhalten zu haben. Gerade im Mittelstand entscheidet oft der Verwandtschaftsgrad, wer Führungskraft wird, nicht die Qualifikation; Ausbildung findet nicht statt.

Komplett anders läuft dies beim Militär. Dort werden zukünftige Führungskräfte sehr früh identifiziert und mit viel Aufwand zu dem ausgebildet, was sie tun sollen: in einer Welt voller Unwägbarkeiten führen und richtige Entscheidungen treffen. Dieses Buch leitet aus militärischen Führungsgrundsätzen ab, wie gute Führung in einem von Volatilität, Unsicherheit, Komplexität und Ambiguität, kurz Vuca, geprägten zivilen Umfeld gelingen und trainiert werden kann.

Inhalt:

- Alles Vuca oder was? Führung in einer Welt von Unsicherheit
- Management und Führung: ein entscheidender Unterschied
- Notwendiger Exkurs: Rationalität, Intuition und vor was wir uns in Acht nehmen sollten
- Gute Führung – aber wie?
- Erfolgreiche Führung im Unternehmen: Cimitary Leadership

Wolfgang Benzler / Peter Krieger: *Führen und Führen trainieren*. UVK Verlag 2023, 175 Seiten, ISBN:

978-3-7398-3204-3, 34,90 Euro



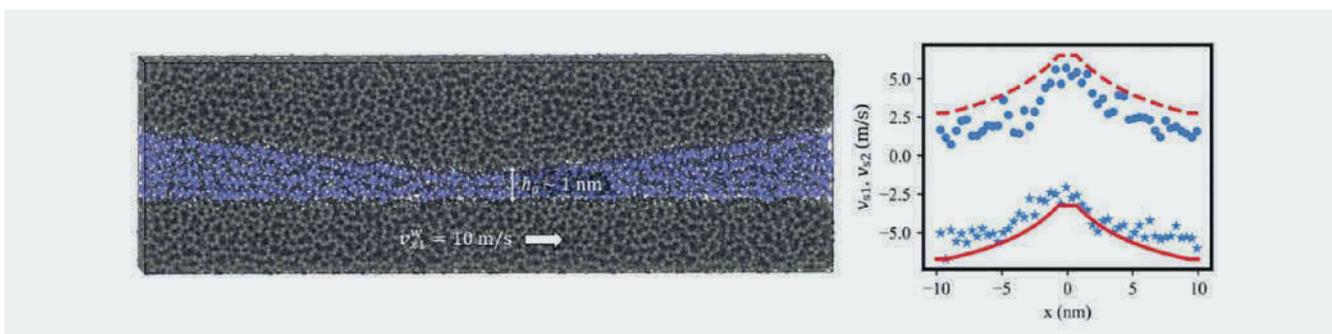
**Führen und Führen trainieren** – 175 Seiten  
– 34,90 Euro. Foto: UVK Verlag

## Weiterentwicklung der Reynoldsgleichung

# Extrem dünne Schmierfilme berechenbar machen

Viele tribologische Systeme werden aus Effizienzgründen an ihren Belastungsgrenzen betrieben. Schmierpalte werden enger, Schmierfilme müssen größeren Belastungen standhalten.

Für das zuverlässige Design solcher Systeme sind Entwicklung und Konstruktion auf präzise Berechnungsmethoden angewiesen. Bei der sogenannten Grenzschmierung versagen konventionelle Berechnungsansätze. Wissenschaftlern vom Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM in Freiburg gelang es, die Mechanismen der Grenzschmierung aufzuklären und vorhersagbar zu machen. Damit eröffnen sie neue Gestaltungsmöglichkeiten für Hochleistungs-Tribosysteme.



**Molekulardynamisches Modell des Kontakts** einer DLC-Rauheitsspitze mit einer DLC-Oberfläche unter PAO-Schmierung (links) und die am unteren (blaue Punkte) und oberen Reibpartner (blaue Sterne) auftretenden Wandschlupfgeschwindigkeiten (rechts). Die roten Kurven zeigen den Vergleich mit der Reynoldstheorie. Foto/Grafik: Fraunhofer IWM

**B**eschleunigt ein Elektrofahrzeug, erzeugt der Motor höchste Kräfte und enorme Drücke wirken auf die Zahnräder des elektrischen Antriebsstrangs. Oberfläche trifft auf Oberfläche, Metall auf Metall. Würde kein Schmierfilm die Zahnräder leichter gleiten lassen, würden sie sich nicht nur extrem erhitzen, sondern auch schnell verschleifen. „Ohne Schmierfilm würde vieles in unserem Alltag langsamer, quietschender und ruckelnder vor sich gehen“, erklärt Prof. Michael Moseler, Leiter des Geschäftsfelds Tribologie am Fraunhofer IWM. „Das Elektrofahrzeug würde sicherlich niemals eine so hohe Reichweite erzielen“, ergänzt Dr. Kerstin Falk, die das Team „Molekulares Schmierstoffdesign“ leitet. Zusammen erforschen sie das Verhalten von Schmierfilmen in hochbelasteten tribolo-

gischen Kontakten, um deren Eignung für einen reibungsarmen Ablauf vorherzusagen. Egal, ob Metall, Kunststoff oder Keramik, mit einer idealen Schmierung können über 20% Energie eingespart werden, weil Maschinen mit weniger Widerstand laufen. Dies ist auch im Sinne der Nachhaltigkeit ein zukunftsträchtiges Forschungsfeld.

Kein Wunder also, dass die Partnerunternehmen des Mikro-Tribologie Centrum  $\mu$ TC, einem Zusammenschluss zwischen dem Fraunhofer IWM und dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT), sehr daran interessiert sind, die Reibung in ihren Systemen so gut wie möglich zu reduzieren. „Inzwischen werden viele tribologische System an ihrer Belastungsgrenze ausgelegt, wo Schmierfilmdicken im Nanometerbereich und Drücke im Gigapascalbereich auftreten. Unsere Partner fragen sich, wie man die

Reibung in einem Bauteil mit solch hochbelasteten tribologischen Kontakten berechnen kann, denn gängige fluiddynamische Berechnungsansätze versagen unter diesen extremen Bedingungen“, fasst Kerstin Falk die Problemstellung zusammen. Falk und Moseler haben zusammen mit ihrem Simulationsteam am Mikro-Tribologie Centrum  $\mu$ TC eine Antwort auf diese Frage gefunden. Nun stellen sie im Fachjournal Science Advances die Ergebnisse ihrer Forschung vor.

Wie man Reibung berechnen und damit so klein wie möglich halten kann, hängt davon ab, welches Schmierungsregime in seinen Bauteilen ein Unternehmen anstrebt. Gewöhnlich möchte es seine Tribosysteme unter elasto-hydrodynamischen Bedingungen antreiben. Dabei soll ein Schmierfilm, dessen Dicke um einiges größer ist als die Rauheiten der

beiden Oberflächen, die Reibung mindern. In diesem Fall kann man die Reibung mit einem kontinuumsmechanischen Ansatz sehr genau vorhersagen. Dafür löst man die sogenannten Reynoldsgleichung für den Schmierstoff, die Osborne Reynolds 1886 ableitete.

Außerdem berechnet man die Wärmeleitgleichung für das Gesamtsystem und die linearelastischen Gleichungen für beide Oberflächen. Als Stoffdaten benötigt man lediglich E-Module und Poissonzahlen der Reibpartner, Wärmeleitfähigkeiten und -kapazitäten aller beteiligten Werkstoffe sowie akkurate Konstitutivgesetze – für die Dichte des Fluids und für dessen dynamische Viskosität für ein Parameterfeld bestehend aus Druck, Temperatur und lokale Scherrate im Fluid. Das ist Stand der Technik.

## Tribosystem in der Grenzschnierung

Wird das Tribosystem jedoch in der Grenzschnierung betrieben, also mit einem sehr dünnen Schmierfilm, bei dem die Asperitenkontakte, d. h. die Rauheitsspitzen, nur noch durch wenige Atomlagen des Schmierstoffs voneinander getrennt sind, wird in den Berechnungen für die „trockenen“ Kontaktstellen nur noch eine grob geschätzte Reibzahl verwendet. „Das ist sehr unbefriedigend, weil Berechnungen mit geratenen Materialparametern ungenau sind, zu suboptimalen Designs führen und die Unternehmen letztlich viel Geld kosten“, sagt Moseler.

Falk und Moseler wollten sich damit nicht zufriedengeben: Zusammen mit vier Partnerunternehmen des MikroTribologie Centrums  $\mu$ TC erforschten sie in einem dreijährigen Projekt ein eigenes mathematisches Gesetz für das Verhalten extrem dünner Schmierfilme und entwickelten die Reynoldsgleichung sozusagen weiter. „Wir wollten verstehen, wie sich Reibung in der Grenzschnierung verhält“, erläutert Moseler. Das Projekt sollte klären, unterhalb welcher Schmierfilmdicke die Kontinuumsmechanik versagt und wie man diese so erweitert, dass man einen Schmierfilm, der dünner als die Oberflächenrauheit ist, berechnen kann. Dazu wurde die Molekulardynamik eines Kohlenwasserstoffschmierstoffs in einer Asperitenkontaktgeometrie berechnet, zum Beispiel zwei Oberflächen aus diamantähnlichen Kohlenstoff (engl.: „diamond-like carbon“, DLC) geschmiert mit einem Polyalphaolefin-Grundöl (PAO).

Die Ergebnisse des Molekulardynamik-Simulation wurden dann mit der Lösung der Reynoldsgleichung verglichen.

Das durchschlagende Ergebnis: Für Drücke zwischen den Reibpartnern unterhalb von 0,4 GPa und Schmierstalthöhen größer als 5 nm stimmt die Reynoldsbeschreibung gut mit den Molekulardynamik-Referenzrechnungen überein, vorausgesetzt man nutzt ein exaktes Konstitutivgesetz für die Viskosität des Schmierstoffs. Im Gegensatz dazu konnten Falk und Moseler zeigen, dass bei extremen Grenzreibungsbedingungen, also hohen Drücken von circa 1 GPa und kleinen Schmierstalthöhen von etwa 1 nm, die Haftung des Schmierstoffs an den Oberflächen vermindert wird und deshalb der Schlupf zwischen einem Reibpartner und dem Schmierstoff in die Berechnung einbezogen werden muss, um die Reibung korrekt vorherzusagen. Dazu wird ein nichtlineares Wandschlupfgesetz benötigt. Dieses setzt die Wandschlupfgeschwindigkeiten (d. h. die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen einem Reibpartner und dem angrenzenden Schmierstoff) mit den lokalen Scherspannungen im Schmierfilm zueinander in Beziehung.

## Grenzreibung berechenbar machen

Mit diesen Forschungsergebnissen legen die Forschenden nun eine innovative Methode vor zur Vorhersage der Reibung unter Grenzschnierbedingungen. Eine zusätzliche Information, die für diese nicht-empirische prädiktive Kontinuumsmodellierung hochbelasteter tribologischer Kontakten benötigt wird, ist die atomare Struktur der reibenden Oberflächen. Diese wird mit tiefergehenden experimentellen Analysen bestimmt und ist Voraussetzung für das Wandschlupfgesetz.

Die neuen Erkenntnisse des Fraunhofer IWM kommen nun in Folgeprojekten zum Einsatz, um Reibwerte und Reibungsverhalten in konkreten Anwendungen vorherzusagen und den Forschungspartnern beim Aufbau von Simulationskompetenz zu unterstützen.

### Kontakt

Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM  
79108 Freiburg  
Prof. Dr. Michael Moseler  
michael.moseler@iwm.fraunhofer.de  
Dr. Kerstin Falk  
kerstin.falk@iwm.fraunhofer.de

## Mechanik und Festigkeitslehre Lehrbuch und Aufgabensammlung

Fundierte Kenntnisse der Mechanik und Festigkeitslehre sind für Techniker:innen und Ingenieur:innen unentbehrlich. Das Lehrbuch bietet den Studierenden die Möglichkeit, sich theoretische Grundlagen zu erarbeiten und anhand von praktischen Aufgaben zu überprüfen. Dabei geht das Buch nach didaktischen Gesichtspunkten vor, die in langjähriger Unterrichtspraxis gewonnen und erprobt wurden. Es werden dabei keine umfangreichen mathematischen Kenntnisse vorausgesetzt.

Die bewährte Aufgabensammlung zum Standardwerk greift in nahezu 1200 Aufgaben die Beispiele aus dem Lehrbuch auf. Es bietet dadurch eine ausgezeichnete Unterstützung und Ergänzung.

Der Lösungsteil enthält die Ergebnisse der Berechnungen und der eventuellen zeichnerischen Lösungen, bei Aufgaben, wo es zum Erreichen eindeutiger Werte sinnvoll erschien, wurden auch die Zwischenergebnisse und die verwendeten Tabellenwerte angegeben.

In einem dritten Teil enthält das Übungsbuch Erläuterungen und Hinweise zum Lösungsweg jeder Aufgabe, sodass auch für Studienanfänger:innen und in der Praxis tätige Techniker:innen und Ingenieur:innen eine Möglichkeit zur schnellen Einarbeitung in die Berechnungsverfahren besteht.

Kabus, Kretschmer, Möhler: *Mechanik und Festigkeitslehre – Lehrbuch und Aufgabensammlung*. Carl Hanser 2023. 352 S. (Lehrbuch) / 276 S. (Aufgaben), ISBN: 978-3-446-47902-9 / ISBN: 978-3-446-47904-3, beide 34,99 Euro



**Mechanik und Festigkeitslehre – Lehrbuch und Aufgabensammlung** – 352 S. / 276 S. – beide 34,99 Euro. Foto: Hanser Verlag

Industriekonsortium entwickelt mit dem SKZ Recycling-Lösungen für Faserverbund-Verschnitte

# Fahrradpedale für mehr Nachhaltigkeit

Faserverbundbauteile aus Carbonfasern und Epoxidharz verfügen über hervorragende Materialeigenschaften. Leider entstehen beim Herstellen von Bauteilen bis zu einem Drittel an Verschnitt. Ein Forschungskonsortium will das mit dem Projekt „PreCycle“ jetzt ändern – auch das Kunststoff-Zentrum SKZ ist daran beteiligt. Die Lösung: die Fertigung hochwertige Fahrradpedale aus dem Abfall.

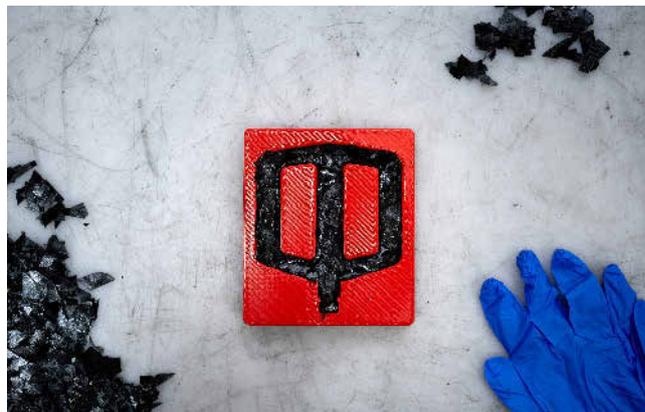
Innovative Leichtbaulösungen in der Luftfahrt und der Automobil- oder der Sportindustrie zeichnen sich durch gute mechanische Eigenschaften bei gleichzeitig niedrigem Gewicht aus. Dabei sind faserverstärkte Kunststoffe, insbesondere Prepregs – mit Epoxidharz getränkte Carbonegewebe – ein oft genutzter Ansatz. Doch gibt es bei deren Herstellung auch einen Nachteil: Beim Zuschnitt der bahnförmigen Halbzeuge kann bis zu 35 % Verschnitt an nicht ausgehärtetem Material entstehen. Dieser Verschnitt muss üblicherweise als Gewerbeabfall entsorgt werden. Derzeit mögliche Recyclingansätze wie die Pyrolyse zur Trennung von Harz und Fasern sind energetisch aufwendig und teuer und somit ebenfalls wenig praktikabel für ein umfassendes Recyclingkonzept der anfallenden Prepreg-Verschnitte.

## Stoffkreislauf zur Herstellung neuer Bauteile

Dieser Herausforderung stellt sich nun ein Konsortium aus Industrieunternehmen im Forschungsvorhaben „PreCycle“. Im Projekt verfolgt das Konsortium – darunter die all ahead composites GmbH, die HP-T Höglmeier Polymer-Tech GmbH & Co. KG, die RF Plast GmbH und das SKZ – einen ganzheitlichen Ansatz zum Recycling von nicht verwertbaren Materialverschnitten. Das Ziel ist die Herstellung von rieselfähigen Duroplast-Formmassen aus nicht ausgehärteten Prepreg-Abfällen, die anschließend im Spritzgießverfahren zu hochwertigen Fahrradpedalen weiterverarbeitet werden. Auf diese Weise lassen sich die nicht ausgehärteten Prepreg-Verschnitte als wertvoller Rohstoff in einen Stoffkreislauf zum Herstellen neuer Bauteile wieder integrieren.

## SKZ übernimmt Rezepturentwicklung und Compoundierung

Das über drei Jahre laufende Kooperationsprojekt wird im Rahmen des Bayerischen Verbundforschungsprogramms (BayVFP) – Förderline Materialien und Werkstoff – vom Freistaat Bayern gefördert. Innerhalb des Projektes entwickelt das Unternehmen HP-T ein großtechnisches Zerkleinerungsverfahren für Prepreg-Verschnitte, während am SKZ die Rezepturentwicklung sowie Compoundierung und Optimierung der Formmassen



Im Forschungsprojekt „PreCycle“ werden hochwertige Fahrradpedale aus nicht verwendeten Materialverschnitten hergestellt.  
Foto: all ahead composites GmbH

stattfindet. Bei all ahead wird das Demonstratorbauteil „High-end-Fahrradpedale“ ausgelegt, das Unternehmen RF Plast schließlich stellt das Spritzgießwerkzeug her und legt den Spritzgießprozess aus.

„Die Ergebnisse des Projektes bieten die Möglichkeit, den anfallenden Gewerbeabfall bei der Verarbeitung von Prepregs wiederzuverwerten und tragen somit zur Erhöhung der Nachhaltigkeit bei. Wir freuen uns deshalb, gemeinsam mit einem schlagkräftigen Industriekonsortium das Recycling der Prepreg-Verschnitte voranzutreiben“, erklärt Dr. Andreas Köppel, Gruppenleiter Vernetzte Materialien und Materialentwicklung am SKZ. ■

### Kontakt

SKZ: Dr. Andreas Köppel  
a.koeppel@skz.de  
All ahead composites GmbH: Christian Gemperlein  
cgemperlein@all-ahead.de  
HP-T Höglmeier Polymer-Tech: Christopher Schmal  
c.schmal@hp-t.de  
RF Plast GmbH: Lea Scheuerlein  
lea.scheuerlein@rf-plast.de

# Aus BWK und UmweltMagazin wird: VDI energie + umwelt

Erste Ausgabe:  
12.02.2024



## Zukunft gestalten: smart, effizient und nachhaltig.

Mit diesem visionären Claim präsentiert sich VDI energie + umwelt, der Nachfolgetitel der traditionsreichen Fachzeitschriften BWK Energie und UmweltMagazin, bei dem Klima und Umwelt stets im Fokus stehen. Wir zeigen auf, mit welchen technisch und wirtschaftlich machbaren Lösungen die Energietransformation in Unternehmen erfolgreich gelingt. Wie Dekarbonisierung, Mobilitätswende und die Transformation zu einer Kreislaufwirtschaft gemeistert werden können. Und wie sich die Wettbewerbsfähigkeit in Unternehmen durch Digitalisierung als Hebel für Ressourceneffizienz und Dezentralisierung steigern lässt.



Technikwissen für Ingenieur\*innen

[vdi-energie-umwelt.de](https://vdi-energie-umwelt.de)



## Jetzt auf E-Paper-Teamlizenz umstellen und profitieren

**50%  
Rabatt\***

### Ihre Vorteile:

- \* 50% Rabatt auf den regulären Jahresabonnementspreis. Angebot nur gültig für das erste Jahr sowie nur für Neu-Abonnent\*innen.
- E-Paper für den Desktop
- Downloadfunktion
- Zugriff auf das Archiv
- Volltext-Suche über das Archiv seit 2015
- E-Paper bereits fünf Tage vor Printausgabe verfügbar

### Ihre Zugänge:

- Bis 10 Nutzer\*innen = personenbezogene Zugangscodes
- Ab 10 Nutzer\*innen = IP-Range

### Jetzt E-Paper-Lizenz Konstruktion bestellen!

Anzahl Nutzer*innen	Preise in EUR
1	495,10
2–5	990,20
6–10	1.485,30
11–50	1.980,40
> 50	2.475,50

Alle Preise brutto.



### Technikwissen für Ingenieur\*innen

Leserservice VDI Fachmedien  
T +49 6123 9238-202  
E vdi-fachmedien@vuservice.de

