



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

01-02 | 2024

konstruktion-online.de

VDI<sup>7</sup> Fachmedien

# Konstruktion

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

Sonderteil  
Maschinenelemente



**ROLLON**<sup>®</sup>  
BY TIMKEN

TITELTHEMA: AUTOMATISIERUNG

PLUG- & -PLAY-LÖSUNG

Schnelle Automation  
mit vorkonfigurierten  
Komponentensets

VDI FACHKONFERENZ

Digitaler Zwilling  
in der industriellen  
Wertschöpfung

WENIGER TREIBHAUSGASE

Nachhaltigkeit  
bei der Herstellung  
von Roheisen



## 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](http://vdi-energie-umwelt.de)

# Alle reden vom Wetter, ...

**W**ir nicht! So hatte die Deutsche Bahn vor einigen Jahren dafür geworben, von Schnee und Eis verunsicherte Autofahrer auf die Schiene zu bringen und damit ein Fahrtziel zuverlässig zu erreichen.

Heute kritisieren die Eisenbahnergewerkschaft und der Fahrgastverband die hohe Störanfälligkeit der Bahn; im Fernverkehr sind Stand Dezember 2023 nur knapp über fünfzig Prozent der Züge pünktlich, Zugausfälle nicht berücksichtigt. Sicherlich gibt es dafür mehrere Gründe.

Einen, für die Produktentwicklung äußerst relevanten sehe ich, allgemein und losgelöst von dem Beispiel Bahn, in der Bewertung der Zuverlässigkeit technischer Systeme.

Dazu noch ein paar Beispiele: Im September letzten Jahres führt eine „IT-Störung von Netzwerkkomponenten“ zu Produktionsausfällen und Problemen in den Bürobereichen an mehreren Standorten eines führenden Automobilherstellers. Etwas später, zur Zeit des Cannstatter Wasens, ist der Bahnverkehr im Bereich des Stuttgarter Hauptbahnhofs massiv eingeschränkt, weil ein Kinderluftballon in die Oberleitung geraten war. Auch in Kommunalverwaltungen und in Krankenhäusern treten Funktionsausfälle auf.

In den Medien kursieren fast täglich weitere Beispiele; zunehmend häufig und zunehmend oberflächlich werden wir über derartige Situationen informiert. Dadurch mag der Anschein entstehen, dass früher vieles besser war. Ich sehe das nicht so. Beispielsweise ist die Erzeugung von Zündfunken im Verbrennungsmotor durch elektronische Bauelemente gegenüber den bis dahin genutzten mechani-

schen Unterbrechern wesentlich zuverlässiger geworden.

Oder allgemein: Sensoren, elektronische Bauelemente und mechanische Strukturen erfüllen ihre Funktion durch die Nutzung geeigneter physikalischer Effekte, durch neue Werkstoffe und durch wachsendes fertigungstechnisches Know-how immer zuverlässiger, und das bei geringerem Raumbedarf, fallenden Kosten und höherer Energieeffizienz.

**„Die Erfahrung zeigt, dass für den Anwender leicht verständliche und insbesondere zuverlässig funktionierende Produkte besonders erfolgreich sind.“**

Genau das führt aber auch dazu, dass immer mehr an Funktionalität in technische Systeme implementiert wird. Ob dieses maximale Funktionsangebot immer gewünscht ist und welche Komplexitätssteigerung es nach sich zieht, wird von Marketingabteilungen und kreativen EntwicklerInnen nicht immer ausreichend hinterfragt. Steigende Komplexität führt bekanntlich nicht zu erhöhter Funktionssicherheit und Robustheit.

Bildlich gesprochen: Eine wegen Funktionsmaximierung mehrere Zentimeter dicke Betriebsanleitung ist für den Anwen-

der erst mal abschreckend. Und zwar unabhängig davon, ob es sich um ein Auto, einen Frequenzumrichter oder um einen Backofen handelt. Also liest man sie nicht, das Meiste funktioniert ja erst mal. Irgendwann wundert man sich dann, warum das Fenster im Auto nur noch halb öffnet, der Frequenzumrichter sein Regelverhalten ändert oder das Roastbeef viel zu trocken wird. Haben wir da Siri unbewusst etwas zugeflüstert oder war ein Sensor zu lange in der Sonne? „It’s not a bug, it’s an option“, heißt es dann weiter hinten in der Bedienungsanleitung.

Nun zeigt die Erfahrung, dass für den Anwender leicht verständliche und insbesondere zuverlässig funktionierende Produkte besonders erfolgreich sind. Also diejenigen, die sich gegenüber systeminternen Abweichungen und äußeren Einflüssen robust verhalten. Genau das lässt sich erreichen, wenn wir bei der Entwicklung technischer Systeme die Forderung der Konstruktionslehre nach der Berücksichtigung von Grundregeln zur Gestaltung berücksichtigen: In jeder Beziehung eindeutig, einfach und sicher. Und das hat sich noch nie ausschließlich auf mechanische Strukturen bezogen! ■



Prof. Dr.-Ing.  
**Detmar Zimmer**  
ehem. Universität Paderborn, Lehrstuhl für Konstruktions- und Antriebstechnik KAT  
33098 Paderborn  
detmar.zimmer@uni-paderborn.de  
Foto: Zimmer



16

**Flurförderzeuge** – Die individuell angefertigten Transportroboter transportieren bei Warema Sonderlastträger mit einem Gewicht bis 4.500 kg. Foto: ek robotics



32

**Induktivkoppler** – Die Radialkoppler wurden insbesondere für Energieübertragungen auf eine mobile Komponente oder rotierende Welle entwickelt. Foto: SMW-electronics

## Editorial

- 3** DETMAR ZIMMER Alle reden vom Wetter, ...

## Aktuelles

- 6** Harting investiert in eigene Biogas-Anlage
- 6** Werkzeugmaschinen: Branche erwartet Minus für 2024
- 7** Neugart mit neuer Führungsstruktur
- 8** Neustart der Nortec
- 9** Produktionsrückgang in der Aluminiumindustrie
- 9** Forschungsprojekt Antrieb 4.0 als Türöffner für zukunftsfähige Antriebslösungen
- 10** VDI-GPP: Nachrichten aus der VDI-Fachgesellschaft VDI-GPP

## Automatisierung

- 12** TITEL Rollon und SEW-Eurodrive automatisieren Handlingaufgaben
- 16** FTS Individuelle Flurförderzeuge für optimierte Prozesse

- 20** MONTAGE Kamerabasiertes Assistenzsystem unterstützt manuelle Arbeitsprozesse

## Sonderteil Maschinenelemente

- 28** SPANNTÉCHNIK Vernetzte Produkte reduzieren Fehler im Bearbeitungsprozess
- 31** PREDICTIVE MAINTENANCE Flanschlagern mit Miniatur-Funksensoren
- 32** INDUKTIVKOPPLER Berührungsloses Übertragen von Energie und Signalen über Luftspalt

## Antriebstechnik

- 51** LUFTFAHRT Fliegen mit Strom und Gas: die Zukunft des hybridelektrischen Fliegens

## Digitalisierung

- 52** VDI-FACHKONFERENZ Der Digitale Zwilling in der industriellen Wertschöpfung

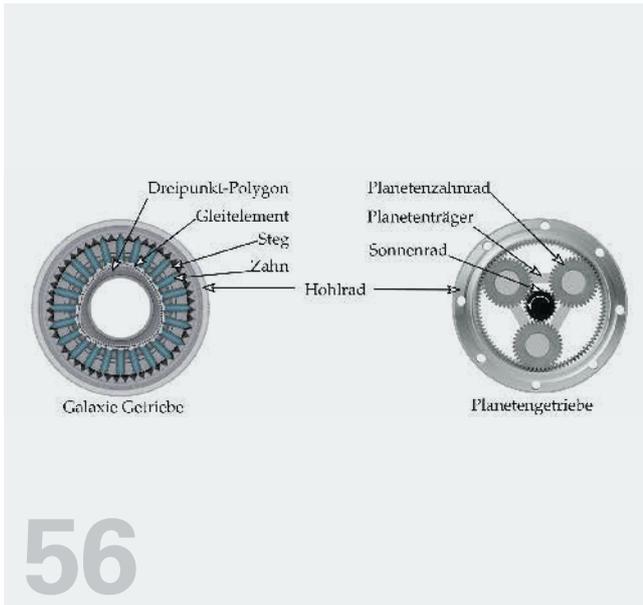
## WiGeP

- 54** ADDITIVE FERTIGUNG 3D-Gedruckte medizinische Phantome

- 55** REMANUFACTURING Nachhaltige Kreislaufwirtschaft durch Zuverlässigkeitsprognosen

## Fachteil Ingenieur-Werkstoffe

- IW2** Diamantschichten nach Maß
- IW4** Nachhaltigere Textbeschichtungen
- IW5** Werkstoffe für medizinische Kleingeräte
- IW6** Edelstahl für Hochtemperaturspeicher
- IW10** Roheisenherstellung wird nachhaltiger
- IW12** Mit Naturfasern nachhaltiger Bauen
- IW14** So werden ADAS-Kameras präzise verklebt
- IW15** Muschel dient als dem Klebstoff als Vorbild
- IW16** Top-Werkstoff für den industriellen 3D-Druck



# 56

**Getriebe** – der Aufsatz zeigt anhand eines Schubkurbelgetriebes, wie eine Profilkurve berechnet wird, wenn eine abweichende kinematische Verket-tung der Übertragungselemente verwendet wird. *Grafik: Verfasser*

## Forschung, Wissenschaft, Innovation

### 56 ANTRIEBSTECHNIK

*P. Eisele, G. Brunbauer, L. Dietrich, F. Haas*

Bestimmung der optimalen Zahnform und Ermittlung der damit übertragbaren Drehmomente und Torsionssteifig-keiten eines hochuntersetzenden Schubkurbelgetriebes \* (DOI 10.37544/0720-5953-2024-01-02-56)

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.

### 63 Forschung und Technik aktuell

## Rubriken

8 Impressum

62 Vorschau

24 Neue Produkte



### Handling automation

Rollon und SEW-Eurodrive haben eine Plug-and-Play-Lösung für die schnelle Automatisierung von Handlingaufgaben entwickelt. Die mechatronischen Komplettsysteme sind modular aufgebaut und kombinieren optimale Performance mit maximaler Wirtschaftlichkeit und Anwenderfreundlichkeit.

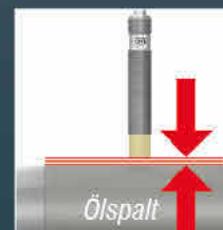
Weitere Informationen: [www.rollon.de](http://www.rollon.de)



## Mehr Präzision. Performante Wegmessung in rauer Umgebung

### eddyNCDT

- Induktive Wegsensoren auf Wirbelstrombasis zur berührungslosen Messung von Weg, Abstand & Position auf allen Metallen
- Hohe Grenzfrequenz für dynamische Messaufgaben
- Höchste Genauigkeit & Stabilität
- Robuste Bauformen für schwierige Umweltbedingungen (Öl, Schmutz, Hoch-Temperatur, Druck bis 2000 bar)



Kontaktieren Sie unsere Applikationsingenieure:  
Tel. +49 8542 1680

[micro-epsilon.de/eddy](http://micro-epsilon.de/eddy)

## Harting investiert in eigene Biogas-Anlage

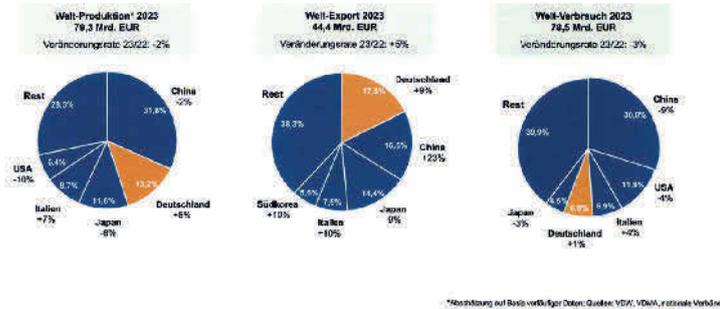
Die Harting Technologiegruppe hat einen zweistelligen Millionen-Betrag in den Kauf einer eigenen Biogas-Anlage investiert. Harting sei damit frei von fossilen Energieträgern zum Beheizen und für Produktionsprozesse in Espelkamp. „Damit schaffen wir Produktionssicherheit für unsere Kunden, unsere Mitarbeiter und die Menschen in unserer Region“, erklärt Philip Harting, Vorstandsvorsitzender der Harting Technologiegruppe. „Die durch den Ukraine-Krieg bedingte Versorgungsnotlage und befürchteten Energieengpässe haben uns deutlich gezeigt, dass wir unsere Grundversorgung selbst sichern und uns unabhängiger von politischen Entwicklungen machen müssen. Das zwischenzeitlich aus diesem Grund zur Absicherung aus dem Ausland stammende Propan-Gas wird jetzt durch heimisches Biogas ersetzt.“ Die internationale Technologiegruppe mit ihren weltweiten Lieferverpflichtungen müsse eine Produktion rund um die Uhr auch in Espelkamp gewährleisten bei gleichzeitiger sicherer Energieversorgung zu planbaren Kosten. Mit dem nun abgeschlossenen Kauf einer eigenen Biogas-Anlage in der Tütenbeke in Espelkamp bringe Harting die für das Unternehmen so wichtige Produktionssicherheit und auch die Umweltphilosophie auf einen gemeinsamen Nenner. Das Biogas wird dabei nicht ins Erdgasnetz eingespeist, sondern in Espelkamp „direkt vor der Haustür“ im eigenen Netz verteilt. Dadurch werde in 2024 die Prozesswärme und Nahwärme netzunabhängig gedeckt.

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



Mit einer Biogas-Anlage in Espelkamp will Harting Produktionssicherheit schaffen. Foto: Harting

### Welt-Daten Werkzeugmaschinenindustrie Deutschland bleibt Exportweltmeister

Welt-Daten der Werkzeugmaschinenindustrie: Deutschland bleibt Exportweltmeister. Grafik: VDW

## WERKZEUGMASCHINEN: BRANCHE ERWARTET MINUS FÜR 2024

Die deutsche Werkzeugmaschinenindustrie erwartet 2024 einen Rückgang in der Produktion von knapp 3% auf nominal 14,8 Mrd. Euro. „Das bisherige Rekordvolumen 2018/2019 von 17,0 Mrd. Euro kann auch nach fünf Jahren nominal noch nicht ausgeglichen werden“, sagte Franz-Xaver Bernhard, Vorsitzender des VDW (Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken), anlässlich der Jahrespressekonferenz des Verbands in Frankfurt am Main.

Bereits seit Beginn des vergangenen Jahres zeigen sich deutliche Brems Spuren im Auftragsengang, die sich auch zunehmend auf Umsatz und Produktion auswirken. Geholfen hatte der hohe Auftragsbestand mit einer Reichweite von rund elf Monaten. Weil Lieferengpässe jedoch kaum noch eine Rolle spielen, wurde er zuletzt zügiger abgearbeitet und kann fehlende Neubestellungen immer weniger kompensieren. Insgesamt sind die Bestellungen 2023 nominal um 10% gesunken. Der Rückgang wurde teilweise durch Monate mit stärkerem Projektgeschäft gebremst und hielt sich daher noch in Grenzen. Die Inlandsnachfrage ist mit einem Minus von 14% fast doppelt so stark gesunken wie die Auslandsnachfrage. Die Weltwirtschaft gibt 2024 kaum Rückenwind. Die Wachstumsraten für Bruttoinlandsprodukt und Investitionen gehen im Vergleich zum Vorjahr nochmals zurück. Der internationale Einkaufsmanagerindex zeigt in allen wichtigen Märkten ebenfalls eine schwache Weltkonjunktur an, insbesondere in der Eurozone und in Deutschland.

„Tatsächlich sehen wir derzeit eine gesplittete Entwicklung“, so Bernhard. Wachstumssektoren wie Elektromobilität, Windkraft, Medizintechnik, Aerospace und Rüstung stützen vor allem das Projektgeschäft, während das Standardmaschinengeschäft schwächer laufe. Kleine und mittelständische Kunden, wie Job Shops, seien unsicher und hielten sich bei den Investitionen zurück. Maschinenkäufe seien aufgrund gestiegener Zinsen zudem schwieriger zu finanzieren.

Im vergangenen Jahr ist die Produktion geschätzt nominal um knapp 8% gestiegen, auf 15,2 Mrd. Euro. Real sind das aufgrund der im Jahresmittel nach wie vor hohen Inflation 2% Plus. Der Export ist um 9% gewachsen. Die Exportquote erreichte knapp 70%. Forciert wurden die Ausfuhren durch ein zweistelliges Wachstum in Amerika. Asien und Europa hingegen konnten nur einstellig zulegen. Insbesondere die USA entwickelten sich äußerst dynamisch, getrieben insbesondere durch Investitionen in den Klimaschutz und in erneuerbare Energien. Wie Bernhard ausführt, rücken die USA als zweitgrößter Markt dem Spitzenreiter China näher. Beide Märkte trennen nur noch gut zwei Prozentpunkte. Der Inlandsabsatz konnte mit 5% nicht ganz so stark zunehmen.

Neben der Konjunkturentwicklung bereitet die Regulierungswut der deutschen Regierung und der EU-Administration der Industrie große Sorgen. Als besonders „gelungene Beispiele für Bürokratiemonster“ führt Bernhard das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz und die Corporate Sustainable Reporting Directive (CSRD) der Europäischen Union an. „Sie belasten das Geschäft zusätzlich und fordern kleine und mittelständische Unternehmen in ohnehin schwierigen Zeiten überproportional heraus. Dazu verfehlen sie ihre Ziele bei viel zu hohen Kosten“, lautet sein Urteil. [www.vdw.de](http://www.vdw.de)

## Neugart mit neuer Führungsstruktur



**Der Getriebespezialist Neugart** hat seine Führungsstruktur neu angepasst (v. li.): Holger Obergföll, Bernd Neugart, Matthias Herr, Swen Herrmann. *Foto: Neugart GmbH*

Der Getriebespezialist Neugart mit Hauptsitz im badischen Kippenheim reagiert auf die Herausforderungen der internationalen Maschinenbaubranche mit einer Anpassung seiner Führungsstruktur: Das Unternehmen bekommt den Angaben zufolge mit Swen Herrmann und Holger Obergföll erstmals in der fast hundertjährigen Unternehmensgeschichte zwei Geschäftsführer, die nicht zum Kreis der Inhaberfamilien gehören. Die Neuaufstellung der Unternehmensleitung bei der Neugart GmbH greift seit Jahresbeginn 2024. Die neuen Geschäftsführer stammen dabei aus den eigenen Reihen: Swen Herrmann (44) ist bereits seit 2013 bei Neugart in verschiedenen Positionen tätig, zuletzt als Geschäftsleiter Business Development. Holger Obergföll (50) kam 2019 als Geschäftsleiter Supply Chain Management zum Unternehmen.

„Wir knüpfen an die bisherigen, erfolgreichen Entwicklungen an“, so die beiden neuen Geschäftsführer übereinstimmend. „Wir werden nicht stillstehen und die Organisation so ausrichten, dass wir auch in Zukunft unsere Kunden und Märkte weltweit mit den für sie passenden Produkten, zur richtigen Zeit und mit hoher Qualität beliefern können.“ Mit der neuen Geschäftsführung hat die Neugart GmbH, wie es weiter heißt, auch die erste Führungsebene neu gestaltet: Ein neunköpfiges „Leadership Team“, wird künftig unter der Leitung der Ge-

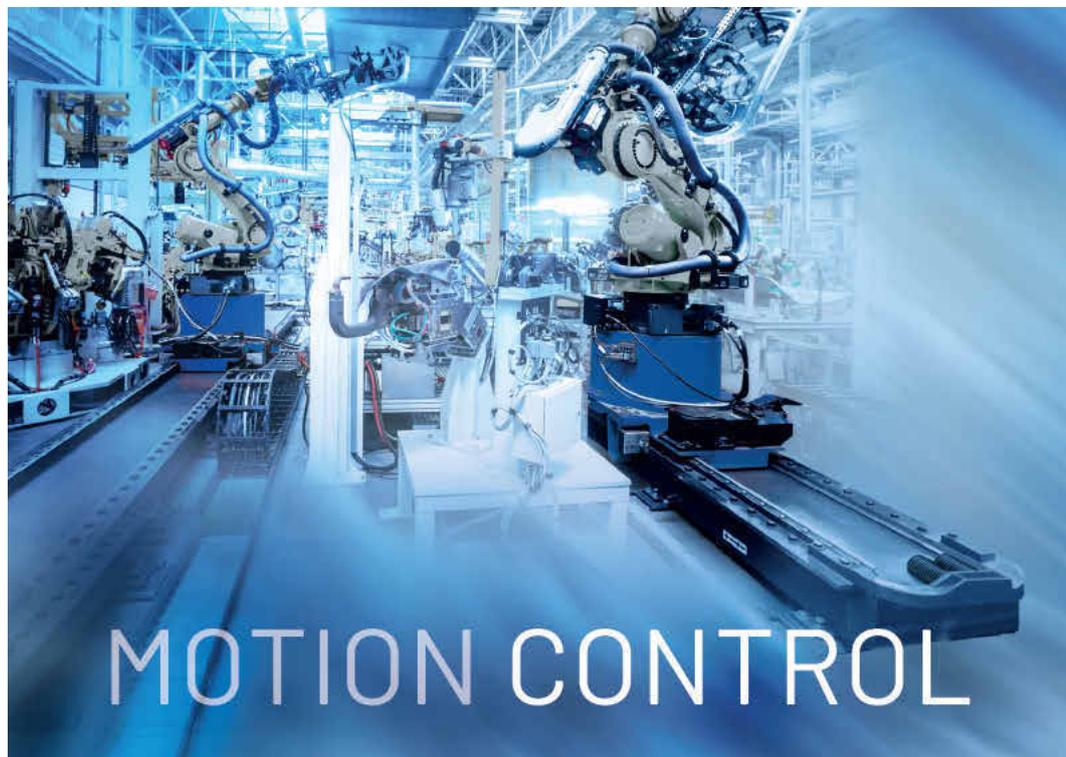
schäftsführung die operativen Geschäfte verantworten. Unverändert bleibt Neugart mit allen Unternehmensteilen im Besitz der Inhaberfamilien Neugart und Herr.

Die bisherigen Geschäftsführer Bernd Neugart und Matthias Herr werden im Zuge der Strukturanpassung künftig in ihrer Hauptfunktion als Inhaber und

Geschäftsführende Gesellschafter der Neugart Holding tätig sein. Die Rolle der Neugart Holding werde damit gestärkt: Sie bildete bisher schon das strategische Dach für die Neugart Gruppe. Diese umfasst neben den drei Produktionsstandorten in Deutschland, USA und China auch die fünf Vertriebsgesellschaften in Brasilien,

Italien, Frankreich, der Schweiz und der Türkei.

Die Holding werde verstärkt auf internationaler Ebene die Voraussetzungen dafür schaffen, dass sich die Unternehmen der Gruppe angesichts von Digitalisierung und Internationalisierung auch künftig auf dem Weltmarkt behaupten könne. [www.neugart.com](http://www.neugart.com)



## MOTION CONTROL

### CRASH DÄMPFER REDUZIEREN STILLSTANDSZEITEN

- Zuverlässiger Schutz vor unnötigen Maschinenschäden
- Hohe Schadensreduzierung durch geringe Stützkkräfte
- Hohe Energieaufnahme mit bis zu 98 % Energieabbau
- Einfache Montage und Austausch sparen wertvolle Zeit
- Hervorragendes Preis-Leistungsverhältnis

YOUR LOCAL SALES CONTACT:



**ACE**  
ASTABILUS COMPANY

## 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 Media Sales

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



Rund 4.800 Fachbesucherinnen und -besucher zog es in die Halle A1 des Messegeländes Hamburg. Foto: Landesmesse Stuttgart GmbH

## Neustart der Nortec

Nach vier Messtagen unter neuer Leitung durch die Messe Stuttgart und dem VDW (Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken), haben die Veranstalter der Nortec eine positive Bilanz gezogen. Vom 23. bis 26. Januar 2024 hat es den Angaben zufolge 4.800 Fachbesucherinnen und -besucher in die Halle A1 des Messegeländes Hamburg gezogen. Lars Reeder, Geschäftsführer der Hein & Oetting Feinwerktechnik GmbH in Ahrensburg und Vorsitzender des Nortec-Beirats: „Die Nortec lebt – hier ist eine gute Stimmung, viele spüren einen guten Geist und ich bin sehr zuversichtlich, dass sie beste Voraussetzungen hat, in der neuen Messewelt einen festen Platz zu besetzen.“ Dr. Markus Heering, Geschäftsführer des VDW: „Wir freuen uns sehr, dass es gelungen ist, die Zahl der Besucherinnen und Besucher im Vergleich zur letzten Veranstaltung auf einen Wachstumspfad zu bringen. Damit haben wir unser erstes Ziel erreicht und eine gute Basis für den Neustart der Ausgabe 2026 gelegt.“

Zufrieden mit dem Angebot der rund 200 Nortec-Ausstellenden zeigten sich die Besucherinnen und Besucher, heißt es weiter. Mehr als 86 % beurteilen die Messe in der Besucherbefragung mit gut oder sehr gut. Dies spiegelt sich in der Ausstellerwahrnehmung wider. Jens Martin, Technischer Berater im Geschäftsbereich Spanntechnik der Schunk Spann- und Greiftechnik in Lauffen am Neckar, sagt: „Unser Markenauftritt kommt erstklassig an, der Stand ist hervorragend frequentiert und insofern haben wir ein großartiges Feedback.“

[www.nortec-hamburg.de](http://www.nortec-hamburg.de)

## Produktionsrückgang in der Aluminiumindustrie

Die deutsche Aluminiumindustrie verzeichnete im Jahr 2023 deutliche Produktionsrückgänge in nahezu allen Teilbereichen. Dies hat der Aluminium Deutschland e. V. (AD), Düsseldorf, mitgeteilt. Vor allem in der Primärerzeugung fiel den Angaben zufolge das Minus besonders deutlich aus. Nach einem Minus von mehr als 30% im Vorjahr sank die Produktion in den deutschen Hütten 2023 um weitere 45% auf 189.000 t. Sie erzeugten noch etwas mehr als ein Drittel (37%) des Volumens von vor der Energiekrise. Selbst 2009, im Jahr der Wirtschafts- und Finanzkrise, wurde in Deutschland deutlich mehr Primäraluminium hergestellt, heißt es. Bis zum Jahr 2021 war Deutschland der größte Primäraluminiumproduzent in der Europäischen Union. Die Unternehmen sahen sich seitdem durch die anhaltend sehr angespannte Situation auf dem deutschen Strommarkt zu drastischen Maßnahmen gezwungen. Eine der verbleibenden vier deutschen Aluminiumhütten wurde zum Jahresende 2023 endgültig stillgelegt.

Marktsegment	Q4 2023	± %	Jahr 2023	± %
Hüttenaluminium	42.074	-25	189.471	-45
Recyclingaluminium	628.838	-3	2.786.282	-6
davon Refiner	111.920	+6	478.170	+1
davon Remelter	516.918	-5	2.308.112	-7
Aluminium gesamt	670.912	-5	2.975.752	-10
Walzprodukte	418.272	-5	1.831.420	-7
Strangpressprodukte	108.746	-8	500.109	-15
Aluminiumhalbzeug gesamt	527.018	-5	2.331.529	-9

Quelle: AD

Die deutsche Aluminiumindustrie verzeichnete 2023 Produktionsrückgänge, sowohl bei der Primärerzeugung, als auch bei der Halbzeugverarbeitung. Grafik: Aluminium Deutschland

Auch im weiterverarbeitenden Aluminiumhalbzeug-Bereich mussten die Unternehmen laut AD deutliche Rückgänge hinnehmen (-9%). Mit 2,33 Mio. Tonnen erreichte das Produktionsvolumen das niedrigste Niveau seit der Finanzkrise. Darunter verzeichneten die Hersteller von Strangpressprodukten mit -15% ein besonders starkes Minus. Bei den

Walzerzeugnissen sank die Produktion auf 1,83 Mio. Tonnen (-7%). Während die Unternehmen mit schwierigen Standortbedingungen kämpfen, sehen sie sich einem Wettbewerb mit Importeuren aus Drittstaaten ausgesetzt, in denen ökologische, soziale und ethische Standards deutlich niedriger sind. [www.aluminiumdeutschland.de](http://www.aluminiumdeutschland.de)

## Forschungsprojekt Antrieb 4.0 als Türöffner für zukunftsfähige Antriebslösungen

Die Gewährleistung von Interoperabilität und gemeinsamen Standards für elektrische Antriebe ist ein zentrales Ziel im Forschungsprojekt Antrieb 4.0. Wie die Forschungsvereinigung Elektrotechnik beim ZVEI e. V. (FE) mitteilt, seien gegenwärtig vor allem proprietäre Antriebslösungen unterschiedlicher Hersteller am Markt verfügbar. Mit dem Aufbau eines geteilten Datenraums möchte das Forschungsvorhaben nicht nur die Verfügbarkeit und Transparenz der Daten steigern, sondern auch die Tür für zukunftsfähige Geschäftsmodelle öffnen. Bei der Auswahl der umzusetzenden Use Cases wurde ein ergebnisoffener Ansatz verfolgt und die Nutzeranforderungen erhoben. Die enge Verzahnung mit der Industrie stellt einen ökonomischen und ökologischen Mehrwert sicher und bietet vor allem kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) erhebliche Wettbewerbsvorteile. Das intensive Auswahlverfahren ergab, dass die beiden Use Cases „Ganzheitliche energieeffiziente Auslegung von Antriebslösungen“ und „Digitalisiertes Asset Management“ die aktuellen

Bedarfe der Unternehmen abdecken. Im Zuge der Projektlaufzeit werden innovative Ansätze zur Verbesserung der Energieeffizienz von Antrieben entwickelt und die Voraussetzungen für eine umfassende digitale Verwaltung und Überwachung von Antriebskomponenten und -systemen geschaffen.

„Die Berücksichtigung der vielfältigen Perspektiven im gesamten Wertschöpfungsnetzwerk war ein entscheidender Faktor bei der Auswahl der Use Cases“, erklärt Dr. habil. Tassilo Schuster vom Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS. „Am Anfang der Entscheidungsfindung stand die Identifizierung möglicher Use Cases mit dem größtmöglichen Nutzen für die Industrie im Vordergrund. Es folgten weitere Definements-Workshops und Expertengespräche, in denen es auch um den Blickwinkel der wissenschaftlichen Neuartigkeit ging. Am Schluss führten wir eine Online-Umfrage unter namhaften Antriebsherstellern, Maschinen- und Anlagenbauern sowie Anlagenbetreibern durch, die uns schließlich zu dem Ergebnis der zwei Use Cases

führte.“ Das Auswahlverfahren stellt eine hohe Praxisrelevanz sicher. Deshalb wurden die relevanten Use Cases nicht schon vor Projektbeginn festgelegt, sondern erst mit Beginn des Projekts und im Dialog mit der Zielgruppe auf die Bedürfnisse der Industrie ausgerichtet. [www.fe-zvei.org](http://www.fe-zvei.org)

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BWMK) mit einer Laufzeit von drei Jahren gefördert. Die Konsortialleitung liegt bei der Forschungsvereinigung Elektrotechnik beim ZVEI e.V. (FE). Konsortialpartner von Antrieb 4.0 sind: Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen, Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelemententechnologie, die Fachgebiete Leistungselektronik und Antriebsregelung bzw. Kommunikationsnetze der Technischen Universität Darmstadt, Forschungsvereinigung Elektrotechnik beim ZVEI e.V. (FE).

## Rudolf-Martin-Ehrenurkunde für Professor Kolerus

Am 27. November 2023 erhielt Hon.-Prof. Dr. Josef Kolerus die Rudolf-Martin-Ehrenurkunde, eine hohe Auszeichnung des DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS).

Seit den 1980er Jahren ist Professor Kolerus in der Standardisierung tätig. Ob in VDI-, DIN oder ISO-Gremien, ob als Mitglied oder Vorsitzender, Kolerus war nicht nur an der Entstehung vieler Standards maßgeblich beteiligt, sondern auch als Mitglied des Fachbeirats Schwingungstechnik für die strategische Weiterentwicklung des Themenfeldes in VDI und DIN zuständig. In den von ihm veröffentlichten Fachbüchern zur Thematik Zustandsüberwachung und Instandhaltungsmanagement hob er stets die Bedeutung von Normung und Standardisierung hervor und war in diesem Sinne auch auf zahlreichen Tagungen und Veranstaltungen präsent. Mit dieser Ehrung werden die langjährigen ehrenamtlichen Tätigkeiten des Preisträgers und seine hervorragenden Verdienste auf dem Gebiet der Zustandsüberwachung und Diagnostik von



Professor Kolerus (re.) erhält die Ehrenurkunde von Professor Beitelschmidt. Foto: Pia Hofmann-Malcher

Maschinen gewürdigt. Die VDI-Tagung „Schwingungen 2023“ war mit rund 80

Teilnehmenden dafür der perfekte Rahmen.

## VDI-GPP-Beirat wählt Frank Mantwill zum neuen Vorsitzenden



Prof. Dr.-Ing. Frank Mantwill (mi.) ist neuer Vorsitzender des VDI-GPP-Beirats. Er folgt auf Dr.-Ing. Marc Pauwels (r.), der dem Beirat sechs Jahre vorstand. Als Stellvertreter wurde Thomas Conrad wiedergewählt. Foto: Hei

Der Beirat der VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung hat Prof. Dr.-Ing. Frank Mantwill einstimmig zum 1. Januar 2024 zum neuen Vorsitzenden gewählt. Er tritt die Nachfolge von Dr.-Ing. Marc Pauwels an, der als Vorsitzender

den Beirat die letzten sechs Jahre geführt hat. Sein Stellvertreter Dipl.-Ing. Thomas Conrad wurde einstimmig im Amt bestätigt.

Mantwill ist seit 2004 Leiter der Professur für Maschinenelemente und Rechnergestützte Produktentwicklung an der Helmut-Schmidt-Universität in Hamburg (HSU). Er studierte an der RWTH Aachen Maschinenbau und wurde 1992 an der TUHH auf dem Gebiet der rechnergestützten Konstruktion promoviert. Von 1992 bis 2003 war Mantwill auf dem Gebiet der Produkt- und Prozessentwicklung sowohl in der Entwicklung als auch in der Produktion in der Industrie leitend tätig. Zuletzt leitete er die Fertigungsplanung Karosserie bei einem deutschen Automobilhersteller. Seit 2010 ist er Vorsitzender des Fachbeirats „Produktentwicklung und Projektmanagement“ (ehemals Produktentwicklung und Mechatronik) und damit Mitglied des Beirats der GPP.

Thomas Conrad ist geschäftsführender Gesellschafter der Karl Schumacher GmbH in Bochum. Er leitet den Fachbeirat Technischer Vertrieb und Produktmanagement der GPP seit 2015 und ist damit ebenfalls seitdem Mitglied des Beirat, für den er seit 2018 als stellvertretender Vorsitzender tätig ist.

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

## Fertigungsmanagementsysteme und Schnittstellen

Der Entwurf der Richtlinie VDI 5600 Blatt 8 „Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems, MES), Interoperabilität und Schnittstellen“ beschreibt die einzelnen Aspekte eines MES als Datendrehscheibe oder als Interoperabilitätsmanager. Dabei werden anhand von einzelnen Trends und daraus resultierenden realen Anwendungsfällen konkrete Anforderungen an zukünftige Systeme abgeleitet.

Die Richtlinie zeigt auf, an welchen Stellen sich aufgrund von fortschreitender und durchgängiger Digitalisierung in der Produktion neue Schnittstellen und neue Schnittstellenanforderungen an MES ergeben.

Sie richtet sich als Leitfaden an Entscheider, Prozessverantwortliche, interne und externe Dienstleister, Anbieter von Software, Hardware und Integration und ergänzt somit weiteren Blätter der Richtlinienreihe VDI 5600.

Die Möglichkeit der Mitgestaltung an der Richtlinie VDI 5600 Blatt 8 ist bis zum 29.02.2024 gegeben. Weitere Informationen unter [www.vdi.de/5600](http://www.vdi.de/5600)

## Produktmanagement im Unternehmen erfolgreich implementieren

Der im Februar erscheinende Weißdruck der Richtlinie VDI 4520 Blatt 3 hilft dabei, das Produktmanagement im Unternehmen individuell passend und strukturiert neu aufzubauen oder schrittweise zu optimieren. Er ist eine Ergänzung zum Blatt 1 der Richtlinienreihe, in der die Grundlagen für ein umfassendes Verständnis von Produktmanagement gelegt wurden.

Im ersten Teil der VDI 4520 Blatt 3 wird ein Implementierungsmodell vorgestellt, dessen Ziel es ist, zu einem Bauplan für ein optimales Produktmanagement zu gelangen. Dieser leitet sich aus einer Reihe von Einflussfaktoren und Stellhebeln ab. Der zweite Teil des Blatts widmet sich der Frage, wie ein solcher Bauplan für ein optimales Produktmanagement im Unternehmen eingesetzt werden kann, um durch einen Veränderungsprozess von einer Ist-Situation zu dem angestrebten Soll-Zustand zu gelangen. Die Empfehlungen der Richtlinie konzentrieren sich auf Hersteller von technischen Produkten und Dienstleistungen, die Funktionen des Produktmanagements in ihrem Unternehmen einrichten oder verbessern möchten.

[www.vdi.de/4520](http://www.vdi.de/4520)

## VDI-Ökobilanz zu E-Mobilität

Wann wird Autofahren grün? Die Transformation der Automobilwirtschaft in Deutschland zu mehr Nachhaltigkeit und Klimaschutz ist in vollem Gange. Das interdisziplinäre Expertengremium Antriebe der VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik hat in einer umfangreichen Studie die Ökobilanz von E-Autos, Plug-In-Hybriden (Benzin/Diesel) sowie konventionell angetriebenen Autos (Diesel/Benzin) verglichen. Die VDI-Ökobilanzstudie hat dabei den Umwelteinfluss verschiedener Pkw-Antriebskonzepte von Kompaktklassefahrzeugen untersucht. Kernergebnis: E-Autos dieser Fahrzeugklasse sind ab einer Laufleistung von 90.000 km klimafreundlicher als solche mit konventionellen Antrieben. In der Langzeitbetrachtung, die die VDI-Ingenieure und Ingenieurinnen in Zusammenarbeit mit dem Karlsruhe Institute of Technology (KIT) durchführten, schneiden bei einer Fahrzeug-Laufleistung von 200.000 km E-Auto und Hybrid-Fahrzeuge in ihrer Klimabilanz am besten ab, gefolgt von Diesel- und Benziner-PKW, die mit fossilen Kraftstoffen betankt werden.

Die tatsächliche Ökobilanz von Autos hängt allerdings von zahlreichen Faktoren ab: Neben dem Produktionsstandort und dem verwendeten Energiemix bei der Fahrzeugherstellung kommt es auf die Antriebsart sowie den verwendeten Strommix beim Fahren an. Der VDI stellt darauf aufbauend sieben Handlungsempfehlungen für den Umbau zum klimafreundlichen Mobilitätsland vor.

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



**Herausforderung Kostentransparenz** ist Thema des nächsten Value Talks am 14. März. Foto: gettyimages/morsa

## VDI Value Talks

Am 14. März 2024 geht es bei unserer beliebten Online-Veranstaltungsreihe „VDI Value Talks“ von 17 bis 18 Uhr um die „Herausforderung Kostentransparenz“ und warum so viele Unternehmen Probleme mit ihren Kosten haben.

Die Veranstaltung ist exklusiv und kostenfrei für VDI-Mitglieder. Die Unterlagen vergangener Value Talks stehen im online Mitgliederbereich meinVDI zum Download zur Verfügung. Weitere Informationen und Anmeldung unter

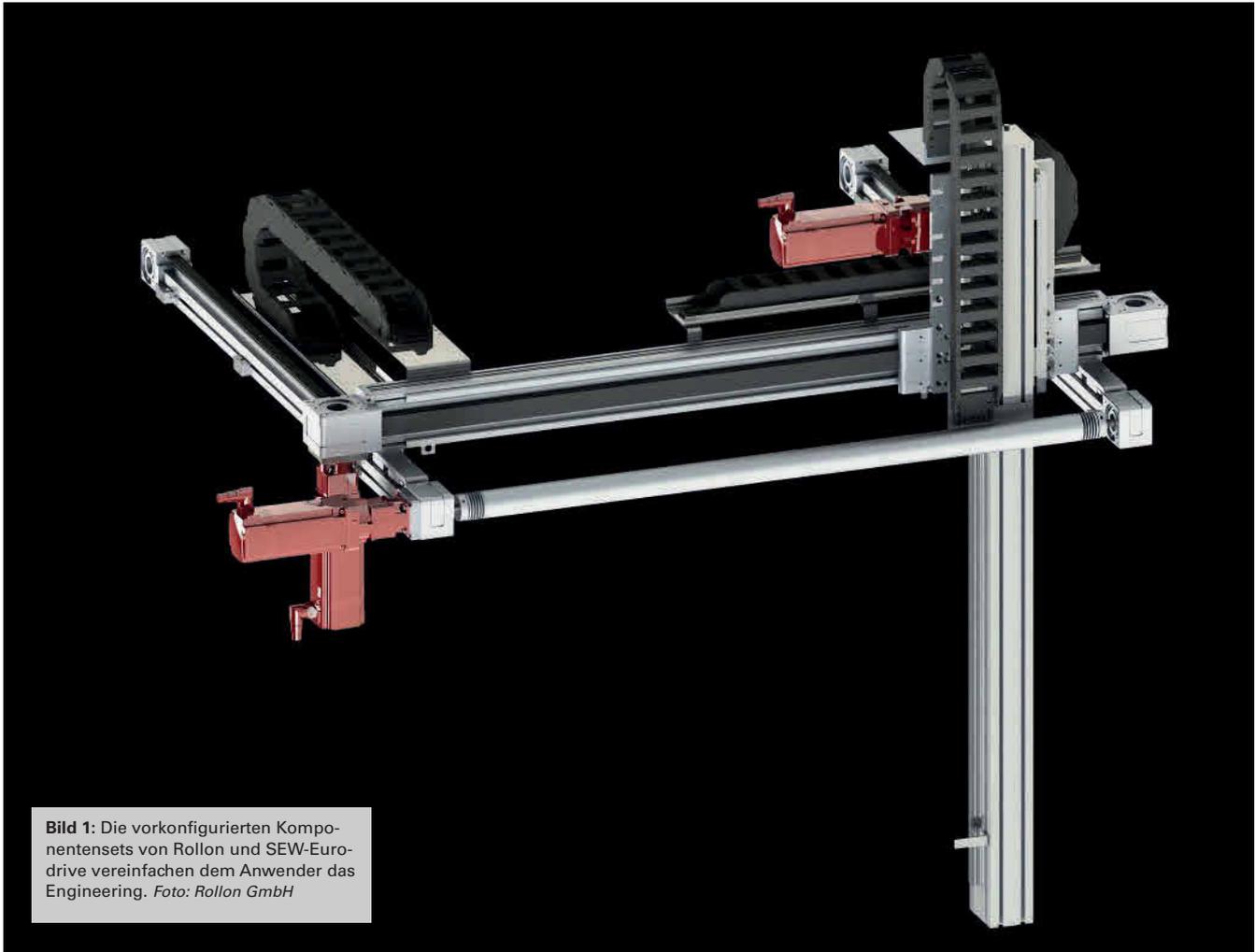
[www.vdi.de/valuetalks](http://www.vdi.de/valuetalks)

## VDI-Tagung Wertanalyse 2024

Im nächsten Jahr findet die Tagung Wertanalyse am 14. und 15. Mai bei der Phoenix Contact Electronics GmbH in Bad Pyrmont statt. Sie steht unter dem Motto "Empowering the Future, Von der Analyse zur Exzellenz: Gewinn bringend in jeder Hinsicht". Das Programm der Tagung ist nun erschienen:

[www.wertanalyse-praxistage.de](http://www.wertanalyse-praxistage.de)

Herausgeber der Richtlinien ist die VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (VDI-GPP). Sie können beim Beuth Verlag (Telefon +49 30 2601-2260) bezogen werden. Die Einspruchsfrist für die Richtlinie VDI 5600 Blatt 8 endet am 29.02.2024. Möglichkeiten zur Mitgestaltung der Richtlinie durch Stellungnahmen bestehen durch Nutzung des elektronischen Einspruchsportals oder durch schriftliche Mitteilung [an.gpp@vdi.de](mailto:an.gpp@vdi.de). Online-Bestellungen sind unter [www.vdi.de/5600](http://www.vdi.de/5600), [www.vdi.de/4520](http://www.vdi.de/4520) 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.



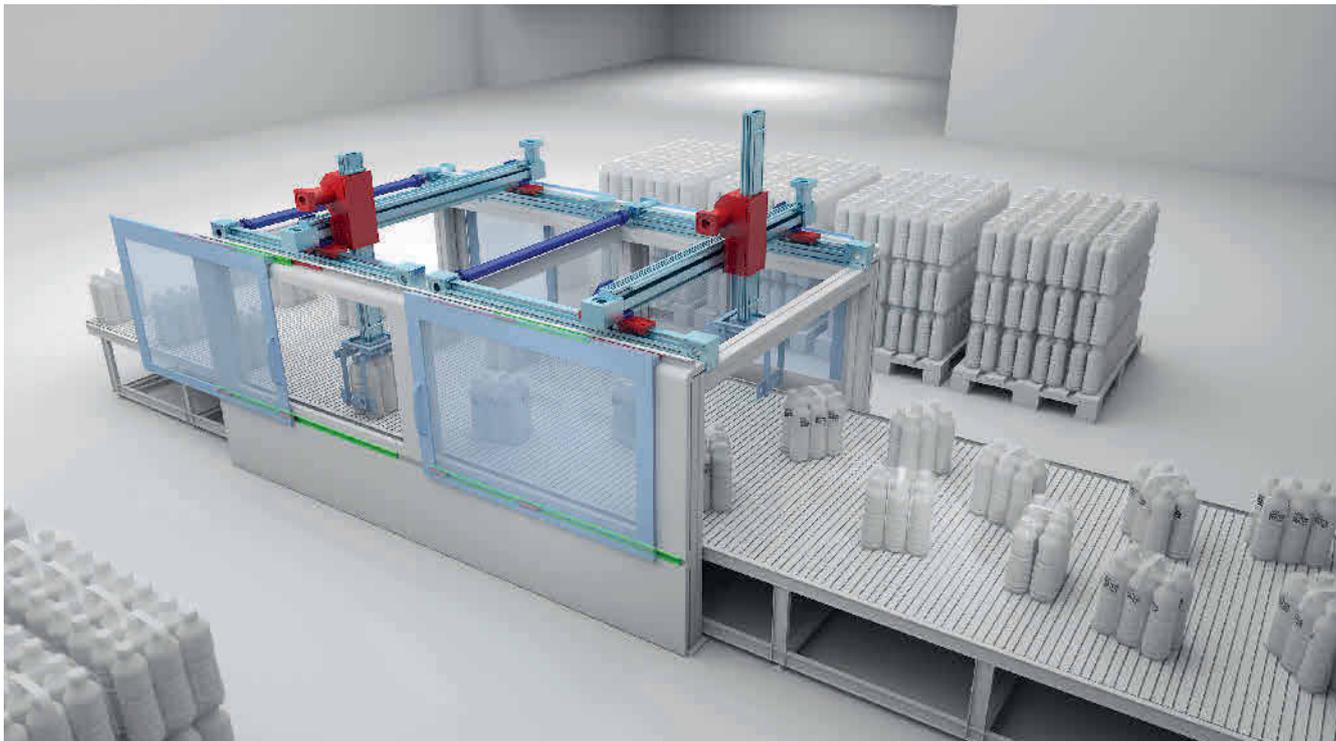
**Bild 1:** Die vorkonfigurierten Komponentensets von Rollon und SEW-Eurodrive vereinfachen dem Anwender das Engineering. Foto: Rollon GmbH

Kooperation von Rollon und SEW-Eurodrive

# Schnelle Automation mit vorkonfigurierten Komponentensets

Rollon und SEW-Eurodrive haben eine Plug-and-Play-Lösung für die schnelle Automatisierung von Handlingaufgaben entwickelt. Die mechatronischen Komplettsysteme sind modular aufgebaut und kombinieren optimale Performance mit maximaler Wirtschaftlichkeit und Anwenderfreundlichkeit. Andreas Kaiser, Senior Sales Manager Actuator Business bei der Rollon GmbH, und Heiko Weissgerber, Group Manager Market Solutions Machines 2 bei SEW-Eurodrive, über die Vorteile vorkonfigurierter Komponentensets, die gemeinsame Zusammenarbeit und warum in vielen Anwendungen Linearachsportale besser geeignet sind als Sechsamroboter.

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



**Bild 2:** Vor allem Automationsaufgaben mit einfachen bis mittleren Anforderungen an Dynamik und Genauigkeit profitieren von den Plug-and-Play-Lösungen. Foto: Rollon GmbH

**Die vorkonfigurierten Dreiachsportale von Rollon und SEW-Eurodrive kombinieren Mechanik, Elektrik und Steuerungstechnik zu einer einfachen Plug-and-Play-Lösung. Wie ist die Idee zur Entwicklung abgestimmter Komponentensets für Portal-Handlingsysteme entstanden?**

Andreas Kaiser In unserer täglichen Arbeit erleben wir immer wieder, wie sich Mehrachs-Projekte durch Abstimmung

probleme zwischen den Bereichen Mechanik, Elektrik und Steuerungstechnik verzögern können. Dabei ist eine separate Auslegung gar nicht für alle Anwendungen notwendig. Vor allem allgemeine Automationsaufgaben, die einfache bis mittlere Anforderungen an Dynamik und Genauigkeit stellen, kommen in der Regel gut mit Standardkonfigurationen zurecht. Genau für solche

Anwendungen haben wir gemeinsam die vorkonfigurierten Komponentensets entwickelt. Alle mechanischen und elektrischen/elektronischen Komponenten sind perfekt aufeinander abgestimmt und können dank Baukastensystem spezifisch auf die individuellen Applikationsanforderungen ausgelegt werden. Das erleichtert Konstrukteuren die Arbeit und spart ihnen Zeit bei



**Bild 3:** Das Smart-System von Rollon: Eine ideale Lösung für anspruchsvolle Anwendungen in industriellen Automatisierungslinien. Foto: Rollon GmbH



**Bild 4:** Der Linearachsen der Modline-Serie ZCH sichern aufgrund des kugelumlaufgeführten Doppelschienensystems mit vier Führungswagen eine hohe Steifigkeit und Tragfähigkeit. Foto: Rollon GmbH

Projektierung, Engineering, Montage und Inbetriebnahme.

*Heiko Weissgerber* Der Markt ist über die letzten Jahre stark im Wandel. Die Komplexität der Maschinen nimmt, getrieben durch Variantenvielfalt, kürzere Produkt-

zyklen, Nachhaltigkeitsaspekte und nicht zuletzt durch Knappheit in diversen Lieferketten, zu. Um unseren Kunden möglichst viel Zeit bei der Auslegung, Inbetriebnahme und Programmierung zu sparen, setzen wir alles daran, die Komplexität aus unse-

ren Produkten zu nehmen. Das fängt bei der Softwarebausteinprogrammierung an und reicht bis hin zu vorgedachten Komponentensets aus unserem Automatisierungsbaukasten, unser sogenanntes Starter-SET. Gerade in der Robotik hört allerdings die Funktion nicht am Getriebe auf, sondern bedarf einer entsprechenden Mechanik. Um hier die Schnittstellen so klein und effizient wie möglich zu halten, arbeiten wir mit Partnern wie Rollon zusammen. Das vernetzte Know-how beider Unternehmen bietet die optimale und individuelle Lösung für unsere Kunden. Mit den vorkonfigurierten Komponenten geben wir ihnen echte Easy-to-use-Lösungen an die Hand, mit denen sie ihre Automatisierung ohne großen Zeitaufwand vorantreiben können.

#### **Wie sind die mechatronischen Komplettsysteme aufgebaut und welche Vorteile bieten sie konkret?**

*Kaiser* Anwendungen mit Handlingsystemen zu projektieren, kostet in der Regel Zeit. Unterschiedliche Fachbereiche sind involviert und müssen miteinander abgestimmt werden. Das ist meist ein sehr aufwendiger Prozess. Unsere Systeme enthalten bereits alle notwendigen Komponenten, von der Lineartechnik über die Antriebstechnologie bis zur Software. Der Kunde bekommt also Linearachsen, Energieketten, Getriebe, Motor, Regler und Kabel optimal abgestimmt aus einer Hand. Auch das Zubehör ist bereits inkludiert, zum Beispiel eine Gelenkwelle, Sensorhalter und Schaltwinkel, Getriebemontagekits und Befestigungsmaterialien, etwa Spannpratzen, Montagewinkel usw., für die verschiedenen Achsen. Die Portale sind einfach zu installieren und ermöglichen eine Zeitersparnis von circa 30 Prozent im Engineering.

*Weissgerber* Rollon zeichnet für die Auslegung der Linearachsen verantwortlich. Wir liefern auf die jeweilige Mechaniklösung optimierte Automationspakete. Diese bestehen aus dem Grundgerüst der Automatisierungskomponenten; beginnend am Getriebeabtrieb bis hin zur Steuerung und der benötigten Software. Die vorkonfigurierten Dreiachsportale bieten optimierte Leistungsdaten und reduzieren den Zeit- und Kostenaufwand deutlich. Dank des Baukastensystems können Konstrukteure außerdem sichergehen, dass die einzelnen Bestandteile optimal zusammenpassen. Das gewährleistet eine schnelle Inbetriebnahme ohne Überraschungen.

Parameter	bewegte Masse 15 kg	bewegte Masse 50 kg	bewegte Masse 110 kg
Geschwindigkeit v in m/s	2	1,4	1,4
Beschleunigung a in m/s <sup>2</sup>	4	2	2
Hub in mm	1000	1000	1000
Lebensdauer in km X-/Z-Achse	> 100.000	> 100.000	> 100.000
Lebensdauer in km Y-Achse	> 100.000	> 45.000	> 55.000

**Tabelle 1** Die Portale bestehen aus Zahnriemenachsen der Smart-Serie, die mit Angabe der aufgeführten Parameter ausgelegt wurden.

### **Können Sie mehr über die einzelnen Komponenten erzählen?**

**Kaiser** Wir haben Linearachsen aus dem Rollon Smart-System gewählt. Die Stärke dieser Produktfamilie liegt in seiner einfachen, aber sehr effektiven Konstruktion. Die Linearachsen werden durch einen stahlverstärkten Zahnriemen angetrieben und bieten eine optimale Kombination aus hohen Geschwindigkeiten, hohen Lastdaten und einer guten Wirtschaftlichkeit. Auf der Z-Achse ist die Rollon Modline verbaut. Diese kugelumlaufgeführten Doppelschienensysteme wurden speziell für vertikale Bewegungen bei Gantry-Bauweise entwickelt und garantieren eine hohe Steifigkeit und Tragfähigkeit bei gleichzeitig hohen Verfahrgeschwindigkeiten, geringer Geräuscentwicklung sowie einem niedrigen Verschleiß. Alle Achsen können gleichzeitig bewegt werden.

**Weissgerber** Das Starter-SET von SEW-Eurodrive besteht aus Hardware- und Software-Grundkomponenten, die spezifisch auf die besonderen Anforderungen von Handlingapplikationen zugeschnitten und vorselektiert sind. Enthalten sind unter anderem zwei synchrone Servomotoren der Baureihe CM3C63S mit einem spielarmen Servoplanetengetriebe aus der Baureihe PS.C sowie ein Controller Package inklusive Engineering-Software. Mit dem Softwaremodul Movikit-Robotics lassen sich die eigentlichen Bewegungsfunktionen und die Synchronisation der Achsen ohne großen Zeiteinsatz implementieren.

### **Durch die Vorkonfigurierung bringen die Komponentensets ein hohes Maß an Standardisierung mit. Wie schaffen Sie es dennoch, die applikationsspezifischen Anforderungen der Kundenanwendungen individuell zu erfüllen?**

**Kaiser** Hier kommt das Baukastensystem zum Tragen. Die Komponentensets sind modular aufgebaut und daher in Leistung und Ausstattung skalierbar. So können sie ohne großen Aufwand hinsichtlich Dynamik, Wirtschaftlichkeit, Genauigkeit und Traglast individuell auf die applikationsspezifischen Anforderungen angepasst werden.

**Weissgerber** Trotz Standardisierung müssen Konstrukteure bei der Auslegung keine Kompromisse eingehen. Ganz im Gegenteil. Die Systeme sind von beiden Seiten abgestimmt und können auf unterschiedliche Einflussgrößen optimiert wer-



**Die Interviewpartner:** Heiko Weissgerber (li.), Group Manager Market Solutions Machines 2 bei SEW-Eurodrive, und Andreas Kaiser, Senior Sales Manager Actuator Business bei Rollon. Foto: Rollon GmbH

den, beispielsweise auf Arbeitsraum, Performance versus Preisgefüge oder Einsatzbereiche. Die Abstimmung und die Koordination geben dem Kunden maximale Flexibilität und dennoch ressourcenschonende Lösungen. Die Standardisierung sichert außerdem ein hohes Maß an Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit.

### **Handlingsysteme sind Bestandteil vieler Automationssysteme. Für welche Applikationen eignen sich die vorkonfigurierten Dreiachsportale konkret?**

**Kaiser** Für die meisten Unternehmen ist Automatisierung gleichbedeutend mit dem Einsatz von Robotern. Roboter bieten ohne Frage viele Vorteile und sind in zahlreichen Anwendungen eine gute Wahl. Doch insbesondere bei Anwendungen mit hohem Durchsatz, langen Hüben oder großen Massen zeigt unsere Erfahrung, dass ein Portal, also eine Kombination von Linearbewegungen, mit Blick auf Performance und Kosteneffizienz in den meisten Fällen eine bessere Wahl ist als ein Sechsarmer Roboter. Auf Basis von häufig vorkommenden Anwendungen haben wir drei typische Dreiachsportale zusammengestellt: für zu bewegende Massen von 15, 50 und 110 kg. Von diesen optimierten Plug-and-Play-Lösungen profitieren vor allem Automationsaufgaben mit einfachen bis mittleren Anforderungen an Dynamik

und Genauigkeit, beispielsweise im End-of-Line Packaging, in der Intralogistik, im allgemeinen Pick-and-Place-Bereich und bei der Maschinenbeladung.

### **Wo sind die vorkonfigurierten Komponentensets erhältlich?**

**Weissgerber** Interessenten können sich gerne an Rollon oder SEW-Eurodrive wenden. Wir beraten umfassend und klären schnellstmöglich offene Fragen. Dank des vernetzten Know-hows beider Firmen erhalten Kunden eine schnelle, aber dennoch optimierte Lösung für ihre Applikation, die von zwei starken Partnern geliefert wird. ■

### **Kontakt**

Rollon GmbH  
40589 Düsseldorf  
Tel. (02 11) 9 57 47 – 0  
Fax (02 11) 9 57 47 – 1 00  
[www.rollon.de](http://www.rollon.de)

SEW-Eurodrive GmbH & Co.KG  
76646 Buchsal  
Tel. (0 72 51) 75 – 0  
[www.sew-eurodrive.de](http://www.sew-eurodrive.de)



Bild 1: Die maßangefertigten Transportroboter transportieren bei Warema Sonderlastträger mit einem Gewicht bis 4.500 kg. Foto: ek robotics

Automatisierungslösungen für Produktion, Logistik und Versand

# Individuelle Flurförderzeuge für optimierte Prozesse

Seit 2022 ist am neuen Produktionsstandort der Warema Renkhoff SE in Wertheim, Baden-Württemberg, ein umfangreiches Fahrerloses Transportsystem (FTS) von ek robotics im Einsatz. Mit insgesamt vier verschiedenen Fahrzeugtypen sorgt das FTS für eine optimale Prozessgestaltung der Produktion und Logistik. Für Warema ist es bereits die zweite Anlage von ek robotics für einen deutschen Produktionsstandort.

TEXT: Timmo Jacobi

**S**onnenschutz, das ist kurz gefasst das Kerngeschäft der Warema Group, einem Unternehmensverbund, der sich in die Sparten Sonne & Lebensräume sowie Kunststoff & Engineering gliedert. Das 1955 gegründete Familienunternehmen mit Stammsitz im bayerischen Marktheidenfeld beschäftigt weltweit über 5.000 Mitarbeitende und ist mit seiner internationalen Marktpräsenz für außen- und innenliegenden Sonnenschutzsystemen einer der führenden Player dieser Branche.

Bei Warema ist ek robotics als langjähriger Partner bekannt: Die erste FTS-Anlage realisierten die Experten im Jahr 2019 in der Unternehmenszentrale in Marktheidenfeld. Mitentscheidend für die Auftragsvergabe war nicht allein das gute Preis-/Leistungsverhältnis, sondern auch die nachhaltige Betreuung durch das ek robotics Service-Team: Wir konnten uns schon vom ersten FTS, erzählt Martin Strobel, Projektleiter bei Warema. „Doch war für alle Beteiligten klar, dass das neue System weitaus komplexer und auch betreuungsintensiver sein wür-

de. Letztendlich hat das Gesamtpaket von ek robotics überzeugt und wir waren sicher, dass am Ende für beide Seiten ein zuverlässiges und leistungsfähiges System stehen würde.

## Maßgeschneiderte Lösung für hohe Anforderungen

Schon seit der Grundsteinlegung des neuen Produktions- und Logistikzentrums in Wertheim im Herbst 2019 ist das leistungsstarke FTS von ek robotics ein integraler Bestandteil des Gesamtkon-

zepts. Am neuen Standort sollen für die jährliche Produktion von Jalousieblenden durchgehend effiziente Prozesse in der Produktion und Logistik realisiert werden. Auf insgesamt 63.500 m<sup>2</sup> sind die Bereiche der Produktion, Beschichtung, Lagerung und Versand für eine maximale Reduktion der innerbetrieblichen Logistik direkt miteinander gekoppelt. Das Fahrerlose Transportsystem muss die Materialflüsse dieser Bereiche verbinden und die gesamte Prozesskette des Standortes vollautomatisiert und mit hoher Effizienz ausführen.

## Durchgehende Automatisierung

Der anhaltende Fachkräftemangel sowie der demographische Wandel sind bekräftigende Faktoren für die Investition in ein Fahrerloses Transportsystem. Noch während der Standort für die neue Jalousieproduktion des Sonnenlicht Managers entsteht, wird parallel auch das FTS in Abstimmung mit dem Architekten und weiteren Projektbeteiligten abgestimmt und eingebunden. Die unterschiedlichen Transportanforderungen sind komplex und erstrecken sich über den gesamten Wertschöpfungsprozess des Produktions- und Logistikstandortes. Weitere Besonderheit: Die Produkte von Warema sind in der Länge von 0,3 bis 4,3 m variabel. Ihr Transport erfolgt per Sonderladungsträger, auf die die Lastaufnahmemittel der Transportroboter genaustens abgestimmt sein müssen. Des Weiteren kommuniziert das FTS zeitgleich mit vielen Schnittstellen wie dem LVS (Lagerverwaltungssystem), dem ERP (Enterprise Resource Planning), dem Transport Manager, dem Verschieberegalsystem und der Messstation für die Gewichts- und Längenkontrolle der Warema-Produkte.

Über 18.500 m<sup>2</sup> ist die Produktionsfläche für die Blechbearbeitung groß. Dort werden Jalousieblenden aus Rohblech automatisiert von einem Coil zugeschnitten und in die entsprechende Form gebogen. Die Verbindung zu der Pulverbeschichtungsanlage wird durch drei maßangefertigte Transportroboter der Serie Custom Move hergestellt. Die drei Transportplattformen befördern die Sonderlastträger, mit einer Größe von 7 m × 4 m, einer Höhe von 4,4 m und einem Gewicht bis 4.500 kg, über eine hydraulischen Hubeinrichtung mit einem Zweifach-Hubbalken. Das Eigengewicht der 4,5 m langen und



**Bild 2:** Drei Custom Move Transportrobotern verknüpfen bei Warema die Blechfertigung mit der Pulverbeschichtungsanlage und sorgt für optimale Materialflüsse. Foto: ek robotics

3,1 m breiten Fahrzeuge beträgt mehr als 3.500 kg. Die speziell für diesen Schwerttransport entwickelten Fahrzeuge sind mit modernster Sicherheitstechnik zum Personen- und Objektschutz ausgestattet und sorgen an fünf Tagen pro Woche im 2-Schicht-Betrieb für einen effizienten Ablauf zwischen der Blechbearbeitung und Pulverbeschichtungsanlage.

## Transport von Lasten mit Überlängen

Aufgrund der variablen Maße der Warema-Produkte muss jedes Transportgut vor der Einlagerung in das Verschieberegalsystem eine Gewichts- und Längenkontrolle passieren. Die Verbindung von der Pulverbeschichtungsanlage zur Messstation wird von drei Heavy Move Transportrobotern mit Sondergabeln für Lasten bis 4,3 m Länge übernommen. Mittels unterschiedlicher Lastmittel befördern die modifizierten Fahrzeuge die bis zu 500 kg schweren Waren zu den 34 Verladetoren am Warenausgang. Während des 3-Schicht-Betriebes übernehmen die Transportroboter auch die

Anlieferung zu den Übergabestationen an den Verschieberegalen (VSR), und das bei stetig kreuzenden Werksverkehr. Für die sichere und präzise Navigation werden alle Fahrerlosen Transportfahrzeuge (FTF) über eine Lasernavigation mit Personenschutzscannern geführt und sorgen mit einer 360°-Rundumsicht für maximale Sicherheit im Betrieb.

## Lastspiele in über acht Metern Höhe

Nachdem die Heavy Move Transportroboter die Fertigwaren an die Übergabestationen befördert haben, übernehmen zwei modifizierte 4-Wege-Stapler der Serie Custom Move die automatisierte Einlagerung der bis zu 4,3 m langen Lasten in zwei Verschieberegalanlagen. Verschieberegale (VSR) sind verfahrbare Regale, die auf elektrisch angetriebenen Verfahrrahmen montiert sind. Die Regale öffnen sich nur an der jeweiligen Stelle, die für die Ein- und Auslagerung benötigt wird. Ein wesentliches Alleinstellungsmerkmal dieser Lagersysteme ist der sehr hohe Raumnutzungsgrad der



**Bild 3:** Heavy Move mit Sondergabeln für Lasten bis 4,3 m Länge transportieren Fertigprodukte bis hin zur Verladung. Foto: ek robotics

mit Verschieberegalen erreicht wird. Die Automatisierung eines VSR und des Warentransportes innerhalb der Regalanlage stellt eine besondere Disziplin in der Transportrobotik-Branche dar. ek robotics hat die 4-Wege-Stapler speziell für diese Transportanforderung modifiziert und mit einer Hybridnavigation ausgestattet.

Außerhalb der Regalanlagen orientieren sich die Transportroboter über die an den Fahrzeugseiten angebrachten Laserscanner. Innerhalb der Regalanlagen werden die FTF mechanisch über seitliche Rollen geführt. Für die sichere sowie präzise Ein- und Auslagerung der Shuttlegestelle und Blendenboxen in über 8 m Höhe, sind die Fahrerlosen Transportfahrzeuge mit innovativer 3D-Objekterkennung ausgestattet. Die dafür eigens entwickelte Software ist in der Lage, eine Vielzahl an Paletten- und Lasttypen zu klassifizieren, auszumessen und gleichzeitig eine Belegt-Prüfung bei Lastabgabe durchzuführen. Mit unseren 3D-Kameras haben wir eine Schlüsseltechnologie für eine fehlertolerante Ein- und Auslagerung auf den 1.900 Stellplätzen realisiert. Unserer Software ermöglicht ein sicheres Lasthandling verschieden dimensionierter Lasten bei hohen Übergabepunkten, sagt Felix Geibel, verantwortlicher Projektleiter bei ek robotics.

### Justieren der Gabelposition mit einer 3D-Punktwolke

Im Betrieb fährt das Fahrzeug die definierte Sollposition an, erstellt eine 3D-Punktwolke bei der Übergabe, analysiert diese in Echtzeit und justiert die Gabelposition, um die angepeilten Lasten passgenau aufzunehmen. Lichtschranken, die in unterschiedlichen Höhen angebracht sind, sorgen für eine zusätzliche Sicherheit in den geöffneten Gängen. Sobald eine Person die freie Gasse betritt, wird diese so lange gesperrt, bis sie wieder manuell freigegeben wird. Außerhalb der Regalanlagen teilen sich die Transportroboter die Fahrwege mit weiteren Werksverkehr, wie manuell gesteuerte Stapler und Fachpersonal.

Den Transport von überlangen Lasten vom Verschieberegale zum Warenausgang übernehmen die Heavy Move Transportroboter. Vier Transportroboter der Serie Smart Move transportieren in einem 3-Schicht-Betrieb weitere Warema-Produkte von zusätzlichen Lagerstationen zum Warenausgang. Der Versand erstreckt sich über insgesamt 34 Verladetore, an de-



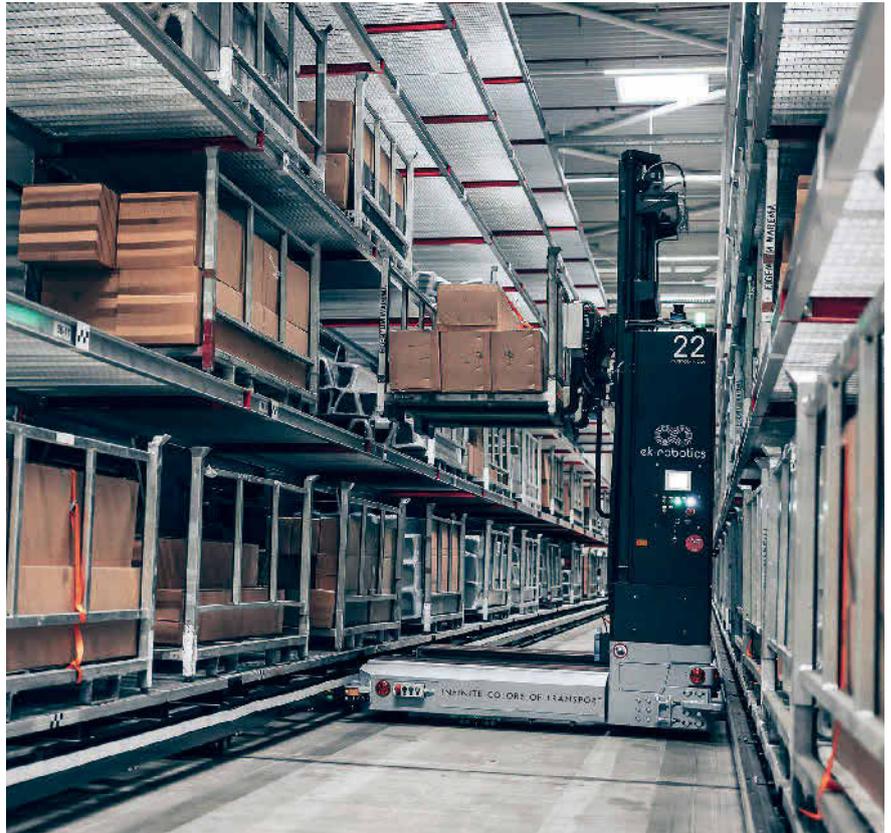
**Bild 4:** Zwei maßangefertigte 4-Wege-Stapler der Serie Custom Move lagern in Wertheim Waren in acht Metern Höhe im Verschieberegale ein. Foto: ek robotics

nen die Waren von Fachpersonal strukturiert in die Lkws geladen werden. Für eine maximale Verfügbarkeit der Ladehilfsmittel verantworten die automatisierten Serienfahrzeuge zudem die Zwischenlagerung von Paletten, Rollwagen und weiteren Lasttypen in den Lagerbereichen. Aufgrund der bis zu 4,3 m langen Waren sind die Smart Move Transportroboter mit einer seitlichen Transportsicherung zur Stabilisierung der Waren ausgestattet. Wie bei den anderen modifizierten und sonderangefertigten Transportrobotern, navigieren auch die Smart Move Fahrzeuge über Laserscanner mit integrierten Personenschutz, um stets höchste Sicherheit bei maximaler Performance zu gewährleisten.

Am Waremas neuen Produktions- und Logistikzentrum in Wertheim hat ek robotics eine komplexe FTS-Anlage für eine optimale Prozessgestaltung der Produktion und Logistik realisiert. Die Besonderheit dieses FTS ist, dass die gesamte Anlage mit ihren 12 Transportrobotern ein elementarer Bestandteil unserer gesamten Prozesskette geworden ist. Von der Produktion der Sonnenschutzsysteme bis zum Warenausgang sind vier gänzlich verschiedene Fahrzeugtypen von ek robotics im Einsatz, fasst Martin Strobel zusammen. Sieben modifizierte Fahrzeugtypen der Serie Smart- und Heavy Move sowie fünf maßangefertigte Transportrobotermodelle der Serie Custom Move sind auf die jeweiligen Transportanforderung angepasst und sorgen mit ihrem Einsatz für eine hohe Effizienz der Wertschöpfungskette sowie für einen hohen Automatisierungsgrad des neuen Standorts. Durch die 60-jährige Expertise im Transportrobotik-Sonderbau, sind komplexe Aufgabenstellungen ein Spezialgebiet von ek robotics. Ähnliche kundenspezifische Systeme hat der FTS-Experte schon bei anderen produzierenden Unternehmen, zum Beispiel in der Getränke- und Keramikindustrie, erfolgreich realisiert. Eine der großen Stärken des Unternehmens ist die unbegrenzte Vielfalt an Lösungsmöglichkeiten.

## 5-in-1 Analyse für die FTS-Optimierung

Mit Sara (Smart Analytics Reporting App) hat sich Warema für die Software als a Service Lösung von ek robotics entschieden, um nachhaltig die Effizienz ihrer FTS-Anlage zu optimieren. Das Reporting- und Analysetool für Fahrerlose Transportsysteme und Transportroboter,



**Bild 5:** Für eine fehlertolerante Lastaufnahme sind die zwei FTF mit 3D-Objekterkennung ausgestattet. Die von ek robotics entwickelte Software ist in der Lage, eine Vielzahl an Paletten- und Lasttypen zu klassifizieren, auszumessen und gleichzeitig eine Belegt-Prüfung bei Lastabgabe durchzuführen. Foto: ek robotics

bietet eine 5-in-1-Analyse der gesamten FTS-Anlage und liefert Empfehlungen für die stetige Optimierung des Fahrerlosen Transportsystems. Anwender können die Entwicklung der Anlage während der Nutzungszeit verfolgen, Transportleistung der Anlage bewerten und einen umfassenden Überblick der Produktionszeiten, Anlagenauslastung und Unterbrechungen einsehen. Sara identifiziert jegliches Optimierungspotenzial, Leistungsspitzen und auffällige Fahrkursbereiche. Das Handling der Software selbst ist unkompliziert: Sara ist Cloud-basiert und lässt sich über einen Internetbrowser bedienen. Um das Tool zu verwenden, genügt ein Endgerät mit Internetverbindung. Mit dem Gesamtpaket aus FTS und der Smart Analytics Reporting App Sara ist Projektleiter Felix Geibel zufrieden: Die erfolgreiche Projektierung und Installation der Anlage ist das Ergebnis des herausragenden Einsatzes unseres Projektteams und der kompetenten, professionellen und partnerschaftlichen Zusammenarbeit mit Warema. Wir freuen uns, eine so großartige Anlage installiert zu haben! Auch Warema Projektleiter Martin Strobel zieht ein positives

Fazit: „Für uns war das Thema FTS nicht komplett neu, doch in dieser realisierten Dimension und Komplexität ein anspruchsvolles Projekt, das auch intern sehr im Fokus stand und von vielen Seiten mit Spannung verfolgt wurde. Wir sind sehr froh und stolz, dass wir mit ek robotics einen Partner gefunden haben, der uns in allen Phasen des Projektes professionell und erfolgreich begleitet und uns auch nach der Installation mit jährlichen präventiven Wartungen und Sicherheitsüberprüfungen zur Seite steht. Wir können uns zu jeder Zeit auf die Experten von ek robotics und ihre konstruktive Zusammenarbeit verlassen. ■

---

### Timmo Jacobi

Corporate Communications Manager  
ek robotics GmbH  
20539 Hamburg  
Tel. (0 40) 2 38 80 80  
info@ek-robotics.com  
www.ek-robotics.com



**Bild 1:** Das Werk-  
erassistenzsystem  
mit dem Namen  
„Der Schlaue Klaus“  
soll die Komplexität  
jedes Unternehmens  
abbilden. Foto: Krieg

Kamerabasiertes Assistenzsystem unterstützt manuelle Arbeitsprozesse

# Zusammenspiel von Mensch und Maschine

Die Digitalisierung kommt immer mehr auch beim Werker an. Nun zeigt ein kognitives und kamerabasiertes Assistenzsystem, wie die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine optimal gelingen kann. Ob Warenein- und -ausgang oder Kommissionierung, ob Montage/Demontage oder Endkontrolle: das Assistenzsystem unterstützt manuelle Arbeitsprozesse. In Kombination mit einem ergonomischen Arbeitsplatz werden so maximale Produktivität, Effizienz und Flexibilität erreicht.

**I**nstabile Lieferketten, hohe Vorratshaltung und Fachkräftemangel: Von diesen aktuellen Problemen sind viele Unternehmen betroffen. Sie führen zu Ressourcenengpässen, Kettenreaktionen und hohen Kosten. Mitarbeiter werden mit zusätzlicher Arbeitsbelastung konfrontiert, was sowohl die Arbeits- als auch die Produktqualität vermindert. Um dabei Abhilfe zu schaffen, hat sich der Arbeitsplatzspezialist Krieg mit den Softwareexperten von Optimum datamanagement solutions zusammengesetzt.

Wie wäre es, wenn ein Mitarbeiter anhand einer digitalen Arbeitsanweisung Schritt für Schritt durch den Prozess geführt wird? Könnte währenddessen gleichzeitig durch eine fortlaufende Bilderkennung geprüft werden, ob jeder Arbeitsschritt korrekt ausgeführt wurde? Könnte so wirksam verhindert werden, dass fehlerhafte Produkte den Arbeitsplatz verlassen? Und wie wäre es, wenn zusätzlich Kennzahlen, Betriebsdaten sowie Mess- und Prüfergebnisse erfasst würden? Dann ergäbe sich zusammen mit den aufgenommenen Bildern ja eine rückverfolgbare Dokumentation? Könnte so ein System im Idealfall sogar 100prozentige Qualität gewährleisten, für eine neue Dimension der Prozessstabilität sorgen und

bei der Überwindung des Fachkräftemangels helfen?

Alles das leistet das Werkerassistenzsystem namens „Der Schlaue Klaus.“ Wir wollten ein richtig cleveres Assistenzsystem machen, das die Komplexität jedes Unternehmens abbildet. Auf den Vornamen kamen wir, weil er positiv besetzt ist und an einen angenehmen Onkel, Vater oder Chef erinnert. Der Schlaue Klaus hat uns dann im Wortrhythmus gefallen, erklärt Wolfgang Mahanty, Geschäftsführer bei Optimum.

Als Produktmanager in China baute er Fertigungen mit auf: „Wenn irgendwo auf der Welt ein Produkt aufschlug, das nicht in Ordnung war, lag das in meiner Verantwortung. Doch wo fängt der Fehler an und wo hört er auf, was ist der Fehler? Schon damals habe ich mir gewünscht, eine Kamera aufzuhängen, um die Produktion zu optimieren. Denn gefühlte und gemeinte Prozessqualität muss auch mit der Realität übereinstimmen.“

## Bilderkennung unterstützt bei der Einarbeitung

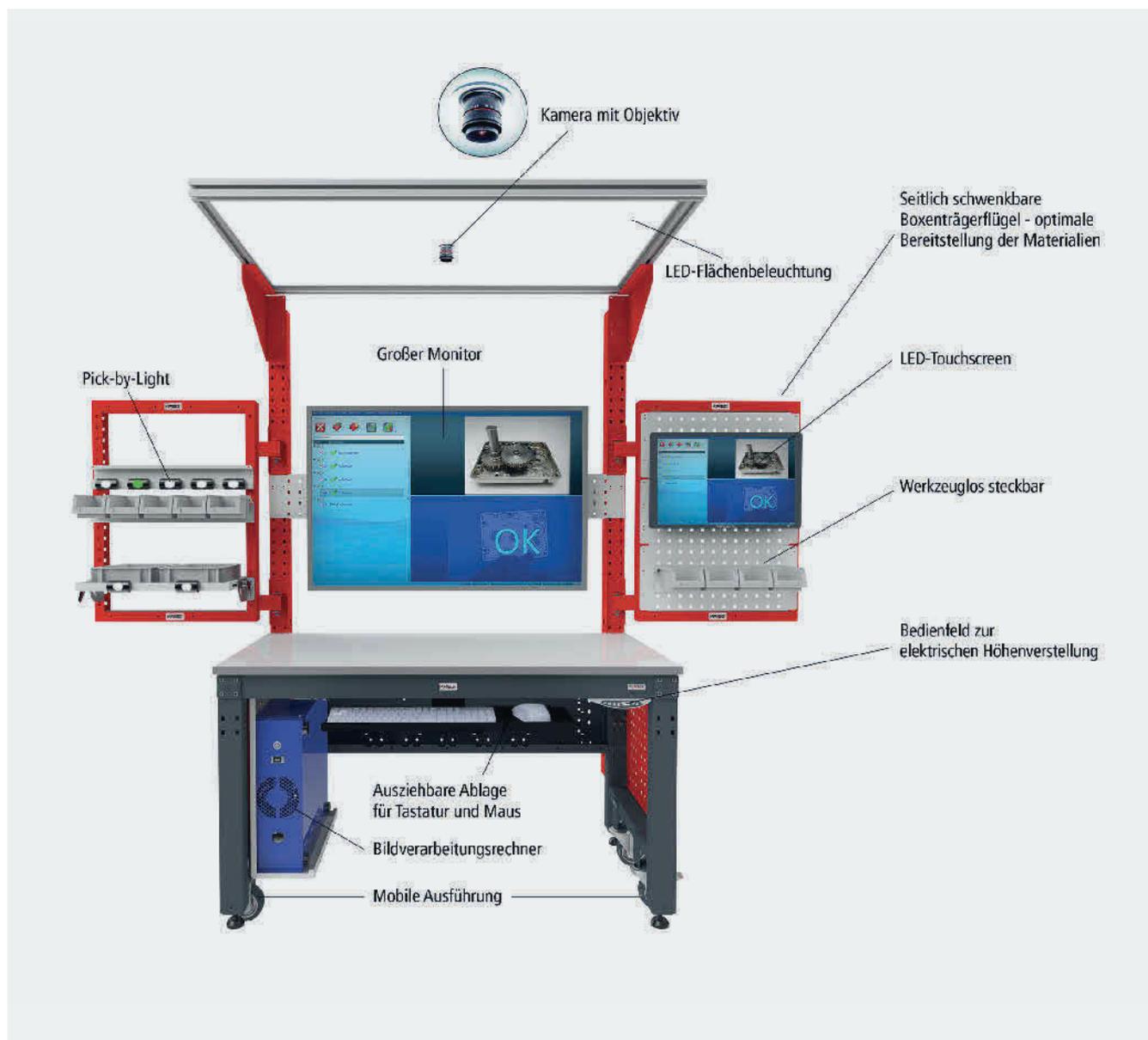
Die industrielle Bilderkennung bringt in der manuellen Produktion viele Vorteile mit sich. Das beginnt beim reduzierten Einarbeitungsaufwand für neue Mitarbei-

ter und Produkte, auch das Einlernen neuer oder geänderter Montageanleitungen ist einfacher. Fertigungsstätten, die mit einer hohen Komplexität der Produkte oder immer kürzeren Lebenszyklen aufwarten, profitieren davon.

Vor allem aber auch für die Menschen ist der Einsatz des Systems gewinnbringend, wenn zum Beispiel jemand nach längerer Abwesenheit oder der Elternzeit in den Betrieb zurückkehrt; eine Belegschaft mitwirkt, die jünger oder multikultureller ist und eine andere Arbeitskultur hat; Situationen auftreten, in denen eine hohe Fluktuation beim Personal herrscht oder wenn der Einsatz von Zeit- und Leiharbeitern oder Aushilfskräften notwendig ist.

Jetzt übernimmt das System die Anleitung und gibt echte Hilfestellung. Weder Kollegen müssen gefragt noch Schritte nachtrainiert werden. Wir nehmen den Menschen ein großes Stück an Stress und Verantwortung, das entlastet alle Beteiligten. Und jeder kann alles fertigen, unterstreicht Mahanty. Das senkt Schulungskosten und Personalaufwand deutlich.

Menschen sind und bleiben in den Arbeitsprozessen unerlässlich. Gleichzeitig machen Mitarbeiter Aufmerksamkeits- oder Konzentrationsfehler, haben mitunter Verständigungsprobleme.



**Bild 2:** Der Workflex Montagearbeitsplatz Ergosmart mit eingebautem Assistenzsystem, welches modular aufgebaut ist und individuell auf die Anwendung angepasst werden kann. Foto: Krieg

Wenn Komponenten fehlerhaft installiert, Schrauben oder Halterungen vergessen werden, wenn eine falsche Anbringung oder unkorrekte Zählung passiert, verursacht das nachhaltig große Schäden. Reklamationen, Rückrufe und Schadensersatzansprüche sind die Folge.

Mahanty: „Low Volume, High mix, das ist aktuell das Hauptproblem in vielen Betrieben. Bei einem Produktionszuwachs von 30 Prozent fragen sich die Betriebe, welche Leute sie einsetzen können. Auch bei ungelernen Arbeitern oder solchen mit Sprachbarrieren hilft der digitale Assistent, zu einem ein-

wandfreien Ergebnis zu kommen.“ Das System trägt wesentlich dazu bei, die Fehlerquoten innerhalb der Montage- und Verpackungsprozesse zu minimieren und ein gesundes Arbeiten zu fördern.

Gerade in der schnellen Einarbeitung neuer Mitarbeiter und neuer Produkte sieht auch Florian Becker, Geschäftsführer bei Krieg, einen großen Pluspunkt: „Das entlastet die Werker, weil diese nicht alle Versionen oder Varianten kennen müssen. Da nun jeder alles fertigen kann, macht das eine flexiblere Personalplanung möglich. Da die Mitarbeiter in Echtzeit vom System

unterstützt werden, sinkt die Fehlerquote enorm. Unterm Strich sind motivierte Mitarbeiter und zufriedene Kunden das Resultat.

### Assistenzsystem ist modular aufgebaut

Das Assistenzsystem ist modular aufgebaut und kann für jeden Anwendungsfall individuell konfiguriert werden. Die digitalen Arbeitsanweisungen lassen sich einfach und ohne Programmierkenntnisse erstellen.

Typische Anwendungsfälle sind beispielsweise die Wareneingangskontrolle

(SK Receipt), die automatische optische Identifikation (SK Ident), die manuelle Montage (SK Assembly), die THT-Bestückung und die automatische optische Inspektion (SK Inspect).

Vor Ort werden eine oder mehrere Kameras verwendet, um den Arbeitsbereich zu beobachten. Anleitungen erfolgen mittels Augmented Reality, die optische Kontrolle mit 2D-Kameras. Die eingezogenen Bilder werden von einer Bildverarbeitungs-Software analysiert und mit der eingestellten digitalen Arbeitsanweisung verglichen. Die Kamera prüft optische Merkmale gegen Referenzdaten. So können zum Beispiel Farben, Formen, Muster, Texte und Bar-/QR-Codes gelesen und mit dem Sollwert abgeglichen werden. Das System erkennt den Arbeitsfortschritt und reagiert situationsabhängig.

### Schritt für Schritt-Anleitung am Bildschirm

Der Werker bekommt am Bildschirm die Schritt-für-Schritt-Anleitung, erst nach der optischen Überprüfung jedes einzelnen Montageschrittes wird automatisch weitergeschaltet und der nächste Schritt angezeigt. Wird etwas vergessen oder falsch durchgeführt, meldet das System sofort den Fehler. Mitarbeiter werden bei der Durchführung ihrer Aufgaben in Echtzeit unterstützt, das verbessert die Geschwindigkeit und Effizienz. Das System bietet Anweisungen und Feedback, um Fehler zu vermeiden und die Qualität der Prozesse zu verbessern und sorgt so für eine sichere Durchführung der Aufgaben, indem es Anweisungen und Warnhinweise bereitstellt. Die Erkennungsweite beträgt bis zu 1 mm. Physikalische Grenzen gibt es lediglich beim Thema Sicht, daher ist die ideale Beleuchtung entscheidend. Derzeit baut Optimum an neuen Algorithmen, die das System lichtunempfindlicher machen.

"Der Schlaue Klaus" kann gut mit den ergonomischen Arbeitsplatzsystemen aus dem Hause Krieg verbunden werden. Insbesondere der Montagearbeitsplatz Ergosmart bietet sich für das effiziente Arbeiten mit digitalen Arbeitsanweisungen an. Ergosmart ermöglicht eine hohe Effizienzsteigerung durch sehr gute Best-Point-Greifräume. Die Materialbereitstellung erfolgt durch Behälter auf Boxenträgerschienen, die



**Bild 3:** Der Montagearbeitsplatz Ergosmart bietet sich für das Arbeiten mit digitalen Arbeitsanweisungen an. Foto: Krieg

ohne Störung des Arbeitsraumes für eine bessere Erreichbarkeit der Materialien sorgen.

Auf Wunsch kann das kognitive und kamerabasierte Assistenzsystem mit einem Pick-by-Light System kombiniert werden. Hat der Mitarbeiter in das richtige Fach gegriffen, die korrekte Anzahl an Schrauben entnommen und passend montiert? Gerade an Arbeitsplätzen, an denen sich viele Teile in den Schütten, Boxen und Sichtlagerkästen ähneln, hilft die LED-Anzeige.

Ob Automotive oder Elektronik, ob Industrie, Medizintechnik oder Luft- und Raumfahrt: Die Branchen und Einsatzbereiche für die Digitalisierung manueller Arbeitsprozesse sind mannigfaltig. Durch die Nutzung digitaler Techniken werden Produktionsprozesse effizienter und flexibler gestaltet. Becker unterstreicht: Der Mehrwert liegt auf der Hand: Neben Prozessautomatisierung, -optimierung und -stabilität wird Qualität garantiert, Produktivität gesteigert und Kosten gesenkt. Der Schlaue Klaus ermöglicht es Unternehmen, die Komplexität durch steigende Kundenanforderungen und hohe Variantenvielfalt wirtschaftlich und in Spitzenqualität zu bewältigen. Er verschafft Unternehmen damit einen klaren Wettbewerbsvorteil.

Ob das richtige Produkt an der richtigen Stelle auch richtig verbaut wurde, wird auf den Millimeter genau kontrol-

liert. Auch Teilschritte werden nachvollzogen, was gerade bei vielen Bauteilen, die ineinander verbaut sind, relevant ist, ebenso wie eine Endfunktionsprüfung. Die permanente Qualitätskontrolle erfüllt ihre Funktion: Immer mehr Auftraggeber wollen einen Qualitätsnachweis, das Thema Rückverfolgbarkeit hat Gewicht. Die Nachvollziehbarkeit und die Dokumentation hat schon so manchen unserer Kunden in Reklamationsverfahren gerettet, berichtet Mahanty.

Die Datenerfassung während des Prozesses lässt Trends erkennen und hilft Muster zu identifizieren, um eine kontinuierliche Verbesserung zu erreichen. Jeder Handgriff wird mit Unterstützung der Kameralösung detailreich überwacht, was sowohl zur Überprüfung als auch zum Nachweis dient. Im Falle einer Kundenreklamation kann diese durch automatisch dokumentierte Daten und Berichte, Bilder und Videos abgewendet werden. Die dauerhafte automatische Kontrolle gibt Prozesssicherheit und zahlt sich aus: Gerade der Wegfall von Nacharbeiten, Reklamationen und 8D-Reports bringt eine deutliche Zeit- und Kostenersparnis. ■

#### Kontakt

Krieg Industriegeräte GmbH & Co. KG  
71296 Heimsheim  
Tel. (0 70 33) 30 13 – 10  
[www.krieg-online.de](http://www.krieg-online.de)  
[www.workflex.de](http://www.workflex.de)



Der Durchflussregler der Serie IN502-44/45 ermöglicht eine platzsparende Durchflussregelung der beiden Medien trockene Druckluft und Stickstoff.  
Foto: SMC Deutschland GmbH

## Durchflussregler mit verringertem Platzbedarf

Bei dem neuen Durchflussregler der Serie IN502-44/45 profitieren Anwender laut SMC von einem deutlich verringerten Platzbedarf durch Verwendung einer einzigen Lösung. Zusätzlich werde der Anschluss vereinfacht und die Kommunikation sowie die Steuerung verbessert. Statt des Zusammenschlusses eines Durchflusssensors und eines elektropneumatischen Reglers, bei dem die Steuerung über eine SPS erfolgt, wird bei der neuen Serie IN502-44/45 nur noch der neue Durchflussregler selbst in der Verrohrung zwischengeschaltet. Auch für den analogen Ein- und Ausgang wird nur noch ein einziges Anschlusskabel zur Verbindung mit der SPS benötigt, führt SMC aus. Zudem muss nach der initialen Inbetriebnahme nur die Einstellung des Durchfluss-Sollwerts als Analogsignal erfolgen, bevor der Betrieb starten kann. Anschließend passt die Serie IN502-44/45 den Durchfluss während des Betriebs automatisch auf den Sollwert an.

Sobald der Sollwert des Durchflusses innerhalb der vorgegebenen Toleranz erreicht wurde oder ein Fehler auftritt, wird ein Signal gesendet. Anwender erhalten dadurch unmittelbar Rückmeldung über die Parameter der Anlage.

Für die automatische Durchflussregelung stehen Nennbereiche von 50 bis 500 l/min (IN502-44) und 100 bis 1000 l/min (IN502-45) jeweils mit einem Durchflussverhältnis von 10:1 zur Verfügung. So ist der Einsatz mit verkürzten Zykluszeiten in Fällen möglich, bei denen große Durchflüsse mit Stickstoff erforderlich sind; beispielsweise bei der Befüllung großer Verpackungen. Während des Betriebs können sich Anwender über das 3-teilige und 2-farbige Display neben dem aktuell geregelten Durchfluss auch den Durchfluss-Sollwert, den Ausgangs-Druckwert, den Durchfluss-Tiefst- und Höchstwert sowie den Modus anzeigen lassen. Durch die einfache Kommunikation über IO-Link mit Standardverkabelung gelingt laut SMC zudem die Abfrage aller numerischer Sensorwerte und die Fernsteuerung von industriellen Netzwerken.

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

## Radarsensoren für schwierige Umgebungsbedingungen

Der neue Distanzsensor R1D von ifm arbeitet mit Radartechnik und kann so laut ifm den Abstand zu Objekten auch bei widrigen Bedingungen zuverlässig erfassen. Er sei ideal für Anwendungen im Außenbereich geeignet, wo beispielsweise Staub oder Dampf die Sicht behindern können. Weil er mit einem fokussierten Radarstrahl arbeite, erfasse er auch Objekte mit schlechten Reflexionseigenschaften. Dass er ideal für widrige Bedingungen geeignet sei, liege auch an der hohen Schutzart IP69K, der Schock- und Vibrationsbeständigkeit sowie dem weiten Arbeitstemperaturbereich von -40 °C bis 80 °C.

Der Messbereich des neuen Radarsensors reicht je nach Objekt bis 50 m. Außer dem Abstand zum Objekt könne gleichzeitig auch die aktuelle Geschwindigkeit relativ zum Sensor ermittelt werden. Die Messergebnisse des Sensors werden über zwei parametrierbare Ausgänge übertragen. Zur Verfügung stehen dabei ein Analogausgang, der auch als Schaltausgang parametrierbar werden kann, sowie eine digitale IO-Link-Schnittstelle. Die Parametrierung des Sensors erfolgt ausschließlich über die IO-Link-Schnittstelle – idealerweise mit der Software Vision Assistant.

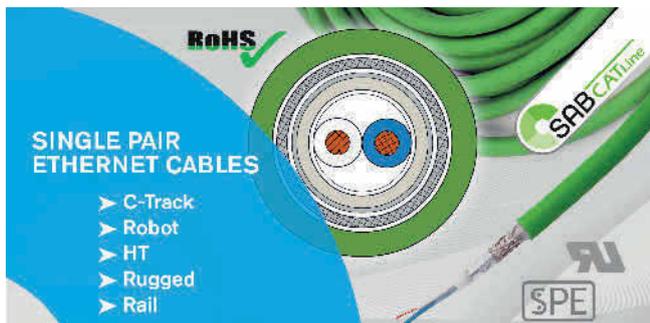
Mit Vision Assistant hat der Anwender den Angaben zufolge zahlreiche Möglichkeiten zur Konfiguration. So werden in der Visualisierung der Software alle erkannten Objekte angezeigt. Der Anwender kann dabei sehr einfach die richtigen Objekte auswählen und den Sensor über Filter parametrieren. Die Schaltausgänge können beispielsweise so konfiguriert werden, dass sie bei vorgegebenen Abständen oder Geschwindigkeiten schalten.

Die Anwendungsbereiche des neuen R1D liegen überall dort, wo Abstände zuverlässig auch unter schwierigen Bedingungen gemessen werden müssen. Eine typische Anwendung ist die Erfassung von Fahrzeugen wie LKW und Schiffen bei Andockvorgängen an Be- und Entladerampen.

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



Der neue Radarsensor R1D misst den Abstand von Objekten bis 50 m.  
Foto: ifm



SAB Bröckskes hat fünf neue SPE-Lösungen für Automatisierung, Hochtemperaturbereiche, Außenanwendungen und die Bahntechnik eingeführt. Foto: SAB Bröckskes

## Applikationsspezifische SPE-Leitungen in fünf Varianten

Im Rahmen seiner Produktserie CATLine hat SAB Bröckskes nach eigenen Angaben anwendungsspezifisch optimierte Single-Pair-Ethernet-Leitungen in fünf Varianten in den Markt gebracht. SPE bietet im Vergleich zu herkömmlichen 4-paarigen Ethernet-Verbindungen signifikante Einsparpotenziale, weil sich hohe Datenraten über lange Distanzen material-, platz- und kostensparend mit nur einem Paar Kupferadern übertragen lassen. Die neu entwickelten CATLine-SPE-Leitungen halten laut SAB starken mechanischen Belastungen und Temperaturen stand und weisen eine hohe Beständigkeit gegenüber Chemikalien, Ölen und Reinigungsmitteln auf. Zum Portfolio gehören die beiden auf die steigenden Datenübertragungsraten in der Automatisierung abgestimmten Varianten CATLine SPE C-Track und SPE Robot. Die für den Schleppketteneinsatz spezifizierte CATLine SPE C-Track verfügt über eine dauerflexible Konstruktion mit speziell abgestimmter Verseiltechnik. Die Version für den Robotereinsatz zeichnet sich durch ihre hohe Torsionsfestigkeit von  $\pm 180^\circ$  aus. Beide Modellvarianten sind UL-zertifiziert und gewährleisten mit Bandbreiten von 1 MHz bis 600 MHz eine sichere und zuverlässige Datenübertragung, führt das Unternehmen aus. Zudem sind sie LABS-unkritisch und RoHS-konform. Als weitere SPE-Lösungen führt SAB Bröckskes die Modelle HT, Rugged und Rail für Hochtemperaturbereiche, den robusten Innen- und Außeneinsatz sowie für Schienenfahrzeuge im Programm. Alle Leitungen sind als Single Pair (2 x AWG 26/7) aufgebaut und können je nach Einsatzgebiet auch als Hybridleitung konzipiert werden, so das Unternehmen. [www.sab-kabel.de](http://www.sab-kabel.de)

## Leichter Faltenbalg mit Lamellen aus Edelstahl

Der Faltenbalg Unique Steel Cover EVO mit Lamellen aus Edelstahl ist eine Weiterentwicklung des vorhergehenden Unique Systems dar. Wie PEI mitteilt, liegt die Innovation in der Trennung der Zugfunktion von der Schutzfunktion vor Spänebeschuss. Anders als die bisherige Version, bei der die Lamelle auch die Zugfunktion beim Auseinander- und Zusammenziehen mit übernahm, nutzt die neue EVO Version kleine Faltenbalgsegmente, wodurch die Abdeckung viel leichter sei als ein herkömmlicher Faltenbalg. Die Lamellenabdeckung habe somit ein kleineres Gewicht, was ihre Schutzwirkung bei hoher Maschinendynamik verbessere.

Aufgrund der Gewichtseinsparung werden beispielsweise die Arbeitsschritte bei der Montage sowie bei Wartungsarbeiten erheblich erleichtert und beschleunigt. Hinzu komme eine wesentliche Verringerung des Trägheitsmoments, wodurch höhere Beschleunigungen und Verfahrensgeschwindigkeiten erreicht werden können. Außerdem werde dadurch die betroffene Maschinenachse weniger belastet und der Energieverbrauch gesenkt. Die Ausführung mit Lamellen ohne Faltenbalg, wie beim Unique Steel Cover EVO, wird insbesondere für Anwendungen in Bearbeitungszentren und für Abdecksysteme empfohlen, heißt es weiter. [www.pei.eu](http://www.pei.eu)



Faltenbalg mit Lamellen aus Edelstahl. Foto: PEI

## Kugellager-Kraftaufnehmer für Nennlasten bis 200 kN

Mit den Lagerkraftaufnehmer von Inelta kann, so das Unternehmen, die Belastung in Wälzlagern erfasst werden. Die DMS-Kraftsensoren messen die auf die Lagertechnik einwirkenden radialen Kräfte. Mit der Serie LK bietet das Unternehmen nach eigenen Angaben kompakte Messeinheiten für die Messung von Radialkräften in Kugellagern. Als Messkörper der für Messbereiche bis 200 kN erhältlichen Baureihe fungiert ein Biegebalken, der über eine zentrale Gewindebohrung befestigt wird. In die Lageraufnahme sind zwei Nuten zur Sprengringführung eingelassen. Eine Indexbohrung gewährleistet die exakte Positionierung und Messung der relevanten Kraftrichtung. Die standardmäßig in Schutzart

IP54 gefertigten, für einen kompensierten Temperaturbereich von 0 bis 40 °C ausgelegten Lagerkraftsensoren verfügen über Verformungskörper aus Edelstahl und ein aus eloxiertem Aluminium bestehendes Gehäuse. Für hohe Messgenauigkeit sorgen, so das Unternehmen weiter eine niedrige Hysterese von unter  $\pm 0,2\%$  sowie ein minimaler Temperatureinfluss auf Kennwert und Nullsignal. [www.inelta.de](http://www.inelta.de)



DMS-Lagerkraftsensoren der Serie LK zum Messen von Radialkräften in Kugellagern. Foto: Inelta

## Kombinierbare Gehäuse und Einsätze für hohe Leistung



Der **Twist-Mechanismus** ermöglicht eine schnelle Verriegelung. Foto: Lapp

Lapp erweitert seine Epic-Power-Serie um vier neue M23-Rundsteckverbindereinsätze und drei neue M23-Gehäuse. Alle Gehäuse lassen sich, so Lapp, mit jedem der vier Einsätze kombinieren. Das Epic-Power M23 D6 Steckverbindergehäuse ist einzeln oder mit dem passenden Einsatz erhältlich. Es ist leistungsstark bis 26 A und aufgrund seiner Baugröße für sehr kleine

Geräte geeignet. Das Metallgehäuse ist aus stabilem Zinkdruckguss. Das Gehäuse kann sowohl mit Einsatz für Buchsen- als auch für Stiftkontakte genutzt werden. Typische Verwendungsbereiche sind Elektromotoren und Servoantriebe, die in Umgebungen im Einsatz sind, in denen elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) gefordert ist.

Aufgrund des Twist-Mechanismus gelingt, wie Lapp ausführt, die Verriegelung mit dem Gegenstück beim Epic-Power M23 D6 Twist noch schneller. Die Verriegelung erfolgt bereits nach einer Viertelumdrehung und kann mit passenden Twist-Gegenstücken der Serie Epic-Power M23 verwendet werden.

Als drittes neues M23-Rundsteckverbindergehäuse stellt Lapp Epic-Power M23 F6 Twist vor. Auch dieses ist einzeln oder inklusive Einsatz sowie mit Einsatz für Buchsen- und Stiftkontakte erhältlich. Der Kupplungsstecker F6 Twist zur Verwendung mit Kabelstecker D6 ist, wie die beiden anderen Gehäuse, leistungsstark bis 26 A und sehr gut für die Konfektion mit Servoleitungen. Das Twist-Schnellverriegelungssystem ermöglicht einfaches Verbinden mit dem Gegenstück.

Hinzu kommen die leistungsstarken M23-Rundsteckverbinder-einsätze Epic-Power M23 Inserts für die individuelle Bestückung mit Buchsen- oder Stiftkontakten sowie mit PE-Crimpkontakt, zur Herstellung eines Epic-Power M23-Rundsteckverbinders. Der M23-Rundsteckverbinder-einsatz ist mit unterschiedlichen Polbildern für sieben Arbeitskontakte sowie einem PE-Kontakt erhältlich. Als konfektionierter M23-Rundsteckverbinder eignet er sich für Einsätze unter hohen Spannungen und Stromstärken, zum Beispiel für Servoantriebe. Die Einsätze für Buchsenkontakte und Einsätze für Stiftkontakte passen gleichermaßen in D6- und F6-Gehäuse und können beliebig ausgetauscht werden, führt Lapp aus.

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

## Kleiner Lasersensor mit hoher Messrate

Bei den Lasersensoren der Reihe Opto-NCDT 1420 ist die Messrate auf bis zu 8kHz verdoppelt worden. Mit einer 16 Bit Digital/Analog-Wandlung und der Schutzart IP67 sind sie laut Micro-Epsilon nun die schnellsten Lasersensoren ihrer Klasse und für Serienanwendungen der Advanced Automation prädestiniert. Sie zeichnen sich durch eine Temperaturstabilität von  $\pm 0,015\%$  d.M. / K und eine Fremdlichtbeständigkeit bis 50.000 Lux aus. Die Einsatzmöglichkeiten der neuen Lasersensoren sind den Angaben zufolge vielfältig. Sie messen auf nahezu allen Oberflächen und arbeiten mit intelligenter Belichtungsregelung, die Hell-Dunkel- und Matt-Glänzend-Wechsel schnell und zuverlässig kompensiert. Aufgrund des kleinen Lichtflecks lassen sich auch kleinste Details hochgenau erfassen. Das robuste Aluminiumgehäuse mit Schutzart IP67 schützt den Sensor vor äußeren Einflüssen und sorgt für Vibrationsbeständigkeit. Darüber hinaus sind die Sensoren mit integriertem Controller und schleppkettentauglichen Kabeln ausgestattet. Dazu kommt ihr geringes Gewicht und die kleine Bauweise. Diese Kombination zeichne sie unter anderem für Robotikanwendungen aus. Die Handhabung ist laut Micro-Epsilon gleichermaßen einfach. Die Möglichkeiten reichen von analog bis digital, von der Plug&Play Lösung über Webinterface bis hin zu ASCII Programmierbefehlen. Damit sind nun auch alle Messbereiche von 10 bis 500 mm standardmäßig für jede Leistungsklasse der Opto-NCDT Lasersensoren erhältlich.

[www.micro-epsilon.com](http://www.micro-epsilon.com)



Die **Lasersensoren** der Reihe Opto-NCDT 1420 sind für Serienanwendungen der Advanced Automation prädestiniert. Foto: Micro-Epsilon

## Servomotor für lange Fahrwege

Die Servomotoren der AZX-Serie von Oriental Motor erreichen nach Angaben des Unternehmens hohe Drehmomente im oberen Drehzahlbereich. Aufgrund dieser Leistungsfähigkeit eignen sich die Antriebe besonders für Anwendungen mit langen Fahrwegen. Das Absolutsystem des eingebauten mechanischen Encoders ermöglicht ein schnelles Fahren in die Grundstellung und somit verkürzte Maschinenzyklen. Darüber hinaus bewirkt der Absolutsensor eine verbesserte Genauigkeit der Referenzierung. Der mechanische Multiturn-Absolutencoder erkennt die Absolutposition des Antriebs bis  $\pm 900 \text{ min}^{-1}$  ( $1800 \text{ min}^{-1}$ ) der Motorwelle von der Referenzpunktposition. Er behält die erfassten Positionswerte auch im ausgeschalteten Zustand bei. Der Servomotor wird mit einem Treiber mit Feldbus (Ether-CAT oder Ether-Net/IP) geliefert. Er lässt sich über ein einziges Kabel mit der übergeordneten Steuerung verbinden.

[www.orientalmotor.eu](http://www.orientalmotor.eu)

# Automatisierung

INNOVATION  
IM DIENSTE  
DER PRÄZISION

FEHLERFREIE  
BEARBEITUNGS-  
VORGÄNGE

SMART  
PRODUCTS 



BEARBEITEN OHNE FEHLER

Spanntechnik  
für die Industrie 4.0

PREDICTIVE MAINTENANCE

Gelenklager  
mit Miniatur-Funksensoren

MOBILE PROZESSE

Energie und Signale  
berührungslos Übertragen



**Bild 1:** Alle Smart Products von norem können mit Bluetooth-Modulen verbunden werden, zum Beispiel Kraftsensor für Schnellspanner, Spanneisen mit Kraftsensor und Auflagebolzen mit Auflage-sensor. Foto: norem

Produkte für fehlerfreie Bearbeitungsvorgänge

# Spanntechnik für die Industrie 4.0

Unter dem Stichwort Industrie 4.0 entwickeln sich Produktionsstätten zunehmend zu „smart factories“. In diesen digitalen Fabriken können einzelne Produktionsschritte mithilfe intelligenter Maschinen und Sensoren in Echtzeit überwacht und der Gesamttablauf effektiver organisiert werden. Die Vorteile der Vernetzung zeigen sich beispielsweise auch im Bereich Zerspanung, in dem die Smart Products von norem für fehlerfreie Bearbeitungsvorgänge sorgen.

**S**mart Products (vernetzte Produkte) werden als „smart“ bezeichnet, weil sie selbstständig eigene Fertigungs- und Betriebsdaten sowohl sammeln als auch an andere Geräte übermitteln können. Ausgestattet mit Mikroprozessoren, RFID-Chips oder anderen Systemen zur Datenspeicherung, können sie aber nicht nur Informationen sammeln, sondern auch mit individueller Fertigungsinformation ausgestattet werden. Das vernetzte Produkt ist damit in der Lage, sich „selbst“ in Betrieb zu nehmen sowie einzelne Fertigungsschritte an die Maschine zu übermitteln und damit den eigenen Produktionsprozess zu steuern. Diese Kommunikation zwischen Produkt und Maschine, und Mensch, der beide überwacht, vereinfacht und optimiert viele bisher aufwendige Prozesse in Produktion und Werkstatt.

## Spannsysteme prüfen auf smarte Art

Ein gelungenes Beispiel für den Einsatz von smarter Technik ist der Bereich Zerspanung, in dem Präzision und Effizienz entscheidend sind. Smart Products von norelem ermöglichen die einfache Überprüfung von Aufspannung und Anschlägen bereits vor der Zerspanung. Und je besser ein Werkstück positioniert ist, desto präziser und effizienter kann es bearbeitet werden.

Werden die vernetzten Produkte mit einem Steuerungssystem verbunden, melden sie dem Bediener während des gesamten Bearbeitungsprozesses in Echtzeit Betriebszustände oder -daten. Ebenso können sie Verschleiß, Anomalien sowie jeglichen weiteren Wartungsbedarf signalisieren, wodurch Probleme frühzeitig erkannt werden.

Die smarten Produkte von norelem verfügen über vereinfachte Einstellungen für eine ergonomische und intuitive Handhabung. Auch das kann Fehler reduzieren. Sie sind schnell und kabellos eingerichtet, gemäß Schutzart IP64 staubdicht und geschützt gegen allseitiges Spritzwasser und beständig gegen Kühlschmierstoffe.

## Alles auf Grün mit Smart Products

Für möglichst fehlerfreie Bearbeitungsvorgänge, beispielsweise in der Zerspa-



**Bild 2:** Die Signalsäule meldet kritische Zustände der Smart Products, wenn beispielsweise ein Auflage- oder Kraftsensor die Verbindung zum Gateway verloren hat oder der Akku leer ist. Foto: norelem



**Bild 3:** Das Gateway ist eine Schnittstelle zwischen Smart Products und Maschinensteuerung. Es kann mit einem mobilen Endgerät verbunden werden, um Betriebsdaten zu visualisieren. Foto: norelem

nung, sind Smart Products die Lösung. Der Normteillieferant norelem hat verschiedene smarte Komponenten im Sortiment.

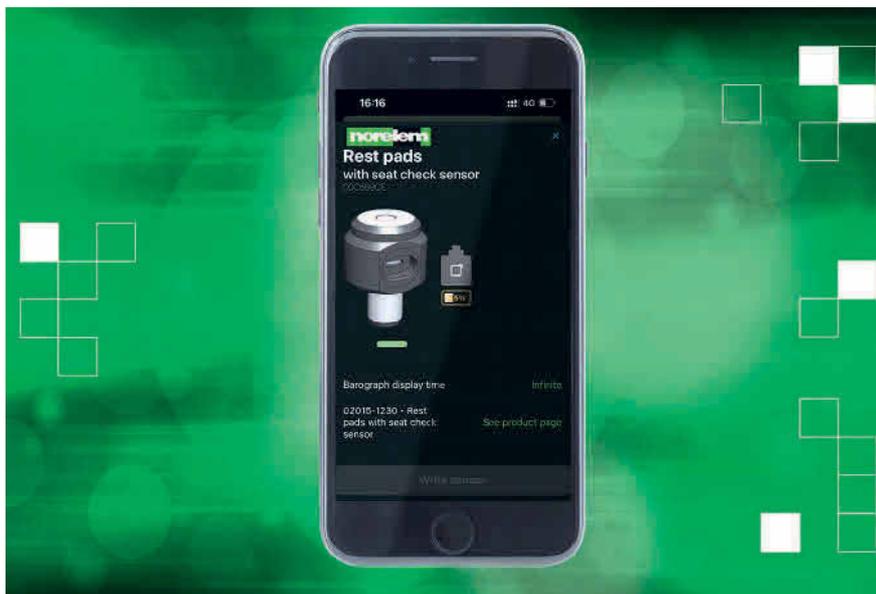
Der intelligente Auflagebolzen ermöglicht eine Teileüberwachung in Echtzeit. Er ist in den Größen M12, M16 und M30 erhältlich und ermöglicht die präzise Positionierung des Werkstücks.

Mit Hilfe des Kraftsensors für Schnellspanner wird der Spannvorgang genau geprüft, wodurch eine perfekte Klemmung des Werkstücks mit einer erhöhten Wiederholgenauigkeit sichergestellt wird.

Das Spanneisen mit Kraftsensor überwacht ebenfalls den Spannvorgang und misst die Spannkraft in Echtzeit. Das smarte Spanneisen bietet norelem in den Größen 80, 100 und 125 mm an.

## Datenübertragung und Webanwendung

Kombiniert man die Smart Products mit dem Bluetooth-Modul, können Prozesse sensorzustandsabhängig gesteuert werden. Das Signal wird drahtlos via Bluetooth übertragen und ermöglicht eine visuelle und schnelle Anzeige des Sensor-



**Bild 4:** Mit der norem Webanwendung kann ein Spannsystem ganz einfach per Smartphone – oder auch Tablet oder Desktop – geprüft werden, sowohl vor und während als auch nach der Bearbeitung.  
Foto: norem

status. Das Modul lässt sich einfach installieren und ist im Bereich der Smart Products universell einsetzbar.

Das Bluetooth-Modul von norem ist ein drahtloser, kompakter Transmitter für das gesamte Sortiment der Smart Products. Die Verbindung mit den Produkten ist wasserdicht (Schutzklasse IP67). Das Modul überträgt Funkfrequenzdaten über eine maximale Distanz von 35 Metern, basierend auf einem sicheren und geschützten Protokoll.

Das Gateway bildet die Schnittstelle zwischen den Smart Products und einer Maschinensteuerung. Durch diese Verbin-

dung können die Betätigungszustände der Spannelemente in Echtzeit erfasst werden, was eine genaue Prozesssteuerung ermöglicht.

Mit der norem Webanwendung können Spannsysteme komfortabel per Tablet, Smartphone oder Desktop überwacht werden und das vor, während und nach der Bearbeitung. Die Anwendung ermöglicht auch die Überwachung mehrerer Werkzeuge gleichzeitig in verschiedenen Bearbeitungszentren und Produktionsanlagen. Der Status von Sensoren kann visualisiert werden, indem ein einzelnes Smart Product oder ein komplettes Gate-

way überwacht wird. Eine Verbindung zu einem einzelnen Produkt ist über NFC (Near Field Communication für sehr kurze Distanzen) oder BLE (Bluetooth Low Energy) möglich, eine Verbindung zu einem Gateway steht über BLE zur Verfügung. Des Weiteren können Alarmschwellenwerte konfiguriert werden. Für mehr Lesbarkeit lassen sich Werkzeuge im SVG-Format importieren, und dank vollständiger Datenbankhistorie ist auch ein effektives Troubleshooting möglich.

## norem Produkte in der Smart Factory

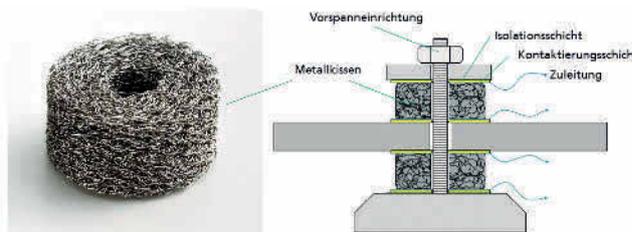
Die Steuerung der Produktion mithilfe von Smart Products sichert oder steigert die Qualität und verbessert die betrieblichen Abläufe. Gleichzeitig verringern sich die Kosten, die anderenfalls durch die Verschwendung von Materialien, sprich Ausschussprodukte, und Zeit für die Nachbearbeitung entstehen können. Langfristig ermöglicht der Einsatz von Smart Products den Aufbau einer digital vernetzten, selbstorganisierten Produktion, der sogenannten Smart Factory, die zur internationalen Wettbewerbsfähigkeit beiträgt. ■

### Kontakt

norem Nornelemente GmbH & Co. KG  
71706 Markgröningen  
Tel. (0 71 45) 2 06 – 0  
info@norem.de  
www.norem.de

## Intelligentes Metallkissen detektiert Schäden

Eine Eigenschaft von Metallkissen ist deren elektrische Leitfähigkeit. Diese variiert mit dem Deformationszustand, der die Anzahl und Pressung der Kontaktflächen im Inneren des Drahtgeflechts beeinflusst. Die Messung der Leitfähigkeit oder des elektrischen Widerstands erlaubt einen Rückschluss auf die Verformung des Lagerelements und die darin herrschenden Kräfte. Auf dieser Basis wurde am LBF ein Sensorconcept entwickelt, wo Metallkissen neben ihrer Rolle als strukturelle Elemente auch eine Schwingungsanalyse und Feststellung von statischen und dynamischen Lagerkräften ermöglichen. Die prototypische Umsetzung wurde von statischen und dynamischen Charakterisierungen verschiedener Metallkissen begleitet und der sensorische Effekt systematisch untersucht und optimiert. Eine einfache Auswertelektronik reicht aus, um Schwingungen mit Frequenzen bis 50 Hz akkurat aufzulösen. Ebenso lässt sich die mit der stark progressiven mechanischen Hysterese verwandte nicht-li-



**Metallkissen** und Skizze des Sensorconzepts. Foto/Grafik: Fraunhofer LBF

neare Sensorkennlinie in sehr guter Korrelation mathematisch beschreiben, wobei sowohl Weg als auch Kraft als Messgrößen dargestellt werden können. Die Anwendungsmöglichkeiten des Sensorconzepts erstrecken sich über verschiedene Branchen mit Bezug zur Schwingungstechnik. [www.lbf.fraunhofer.de](http://www.lbf.fraunhofer.de)

## Predictive-Maintenance-System

# Gelenklager mit Sensorik

Damit Ausfälle von Maschinen und Fahrzeugen der Vergangenheit angehören, ist eine neue Generation von Zwei- und Vier-Loch-Flanschlagern mit Miniatur-Funksensoren ausgestattet worden.

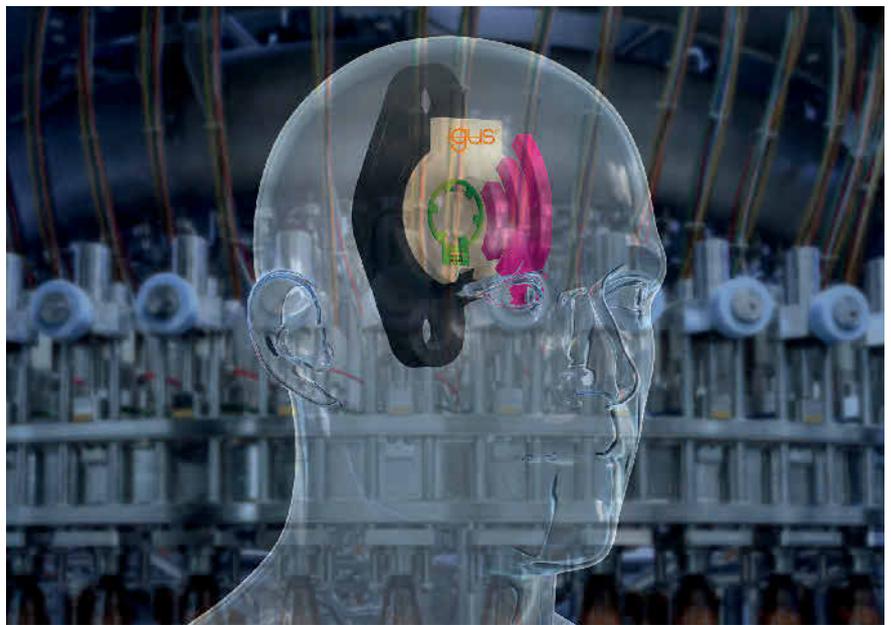
Igus stattet nach und nach Gleitlager aus Hochleistungskunststoff mit vernetzten Sensoren aus. Die Zwei- und Vier-Loch-Flanschlager der Serie Iglobal ermöglichen den Angaben zufolge dadurch Condition Monitoring und Predictive Maintenance, um unvorhergesehene Schäden zu vermeiden.

Und so funktionieren die neuartigen Industrie-4.0-Lager: Igus integriert einen Abriebsensor in die Polymer-Kugelkalotte. Eine dünne Platine, die in der Nähe der Lauffläche sitzt und eine Batterie für die Stromversorgung ohne Kabel. Somit kann sich das Lager für den sphärischen Ausgleich weiterhin frei bewegen. Mit dem Verschleiß werden die Leiterbahnen der Platine unterbrochen. Wenn die Elektronik das Signal einer Leiterbahn verliert, weiß sie, dass der Verschleiß eine bestimmte Stufe erreicht hat.

## Verschleiß des Sensors ist Maß für Lagerverschleiß

Der Sensor sendet ein digitales Signal aus – über ein Long Range Netzwerk (LoRa), ein Funkstandard für das Internet der Dinge, der für seine Energieeffizienz bekannt ist. Empfänger ist das Schaltschrankmodul i.Cee, das die Auswertung der Daten übernimmt. Die dazugehörige Software erkennt aus der Datenauswertung, dass die Leiterbahn verschlissen ist und schließt auf den prozentualen Abrieb zurück.

Im Laufe der Zeit verschleißt nun der Sensor selbst Schicht für Schicht – parallel zur Lauffläche des Lagers. Und sendet weiterhin Signale aus, die einen jeweiligen Rückschluss auf den Zustand des Lagers erlauben. Wie es um die restliche Lebensdauer bestellt ist und wann ein Wartungseinsatz fällig wird, sehen Anwender auf einem webbasierten Dashboard, auf das sie von überall auf der Welt



Die neue Generation der Flanschlager überwacht permanent den Zustand der Lagerstelle, um Schäden und Stillstandzeiten zu vermeiden. Foto: igus GmbH

mit PC, Tablet oder Smartphone Zugriff haben.

## Flanschlager im Einsatz bei einem Pilotkunden

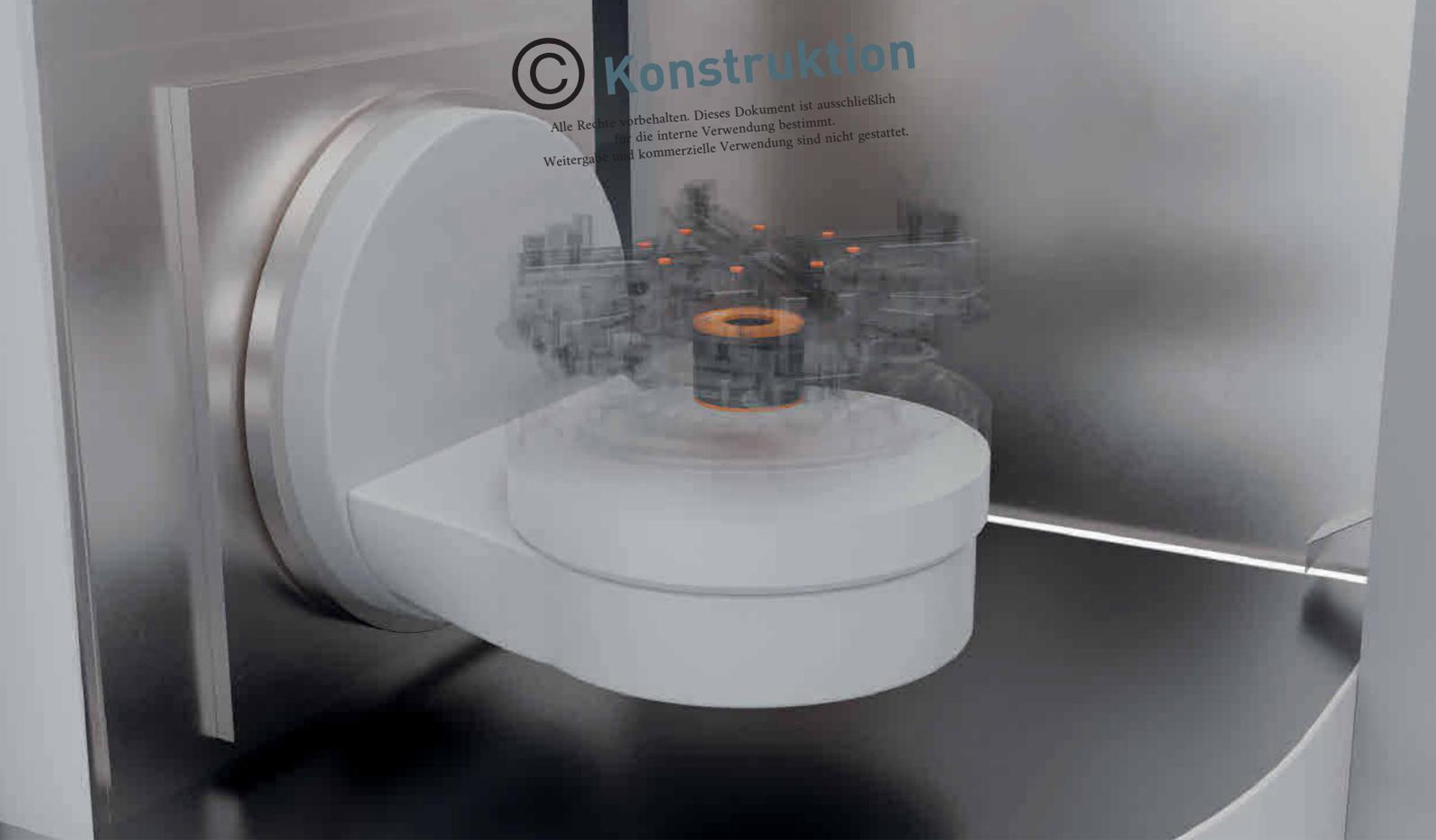
Die neuen Flanschlager befinden sich laut Igus in der Prototypenphase. Einen Pilotkunden haben sie, so Igus, überzeugt: Die Société National des Chemins de Fer Luxembourgeois (CFL). Die staatliche Eisenbahngesellschaft Luxemburgs betreibt eine 200 Meter lange Waschstraße, die täglich Züge des Nah- und Fernverkehrs reinigt. Dabei führten in der Vergangenheit Störungen der Getriebe am Waschwagen immer wieder zu kostspieligen Anlagenausfällen. Der Betreiber hat sich deshalb von geschmierten Standardkugellagern verabschiedet und stattdessen die vernetzten Kugelkalotten von Igus in die UC-Lagergehäuse eingesetzt. Der Vorteil:

Die Kalotten aus Hochleistungskunststoff sind korrosionsfrei, chemikalienbeständig und ermöglichen dank integrierter Festschmierstoffe einen reibungsarmen und wartungsfreien Trockenlauf.

Die anderen Lager hätten alle paar Wochen geschmiert werden müssen, was zeitaufwendig gewesen sei. Aufgrund der kontinuierlichen Zustandsüberwachung könne CFL Ausfälle verhindern, Wartungseinsätze optimal planen und die Lebensdauer der Polymerlager voll ausschöpfen. ■

## Kontakt

igus GmbH  
51147 Köln  
info@igus.de  
www.igus.de



**Bild 1:** Die Radialkoppler wurden insbesondere für Maschinen entwickelt, bei denen auf eine mobile Maschinenkomponente oder eine rotierende Welle die Übertragung von Energie und Signalen erfolgen soll. Foto: SMW-electronics

Induktivkoppler für die Digitalisierung und Automation von mobilen Prozessen

# Berührungsloses Übertragen von Energie und Signalen über Luftspalt

Die Digitalisierung hält in immer mehr Bereichen Einzug. Um auch bei mobilen Anlagenteilen Energie und Signale zwischen stationären und bewegten Komponenten kontaktlos übertragen zu können, hat SMW-electronics induktive Koppelsysteme entwickelt. Diese stehen sowohl als Koppler in Scheibengeometrie (Radialkoppler) mit und ohne Innendurchgang als auch als zylinderförmige Koppler mit Gewinde zur Verfügung. Die induktive Kopplung ist verschleiß- und wartungsfrei und ersetzt die klassische Übertragung mittels Kabel und Kontakten oder Schleifringen.

**D**ie steigende Automatisierung bedingt den zunehmenden Einsatz von Sensoren und Aktoren auch in rotierenden oder sich bewegenden Anla-

genteilen. Bisher erfolgte bei diesen Systemen die Übertragung von Energie und Signalen mittels Kabel, Stecker oder Schleifringen. Das Problem dabei: Diese Komponenten verschleifen und sind anfällig für Verschmutzungen. Die Lösung

sind die kontaktlos arbeitenden induktiven Koppelsysteme von SMW-electronics. Diese stehen in den unterschiedlichsten Ausführungen sowohl als Radialkoppler mit und ohne Innendurchgang als auch als zylinderförmige Kopp-

ler mit Gewinde zur Verfügung. Mit ihnen können die unterschiedlichsten, in mobilen Anlagenteilen untergebrachten Aktoren und Sensoren über einen Luftspalt verschleißfrei an Bussysteme und die Energieversorgung gekoppelt werden. Aber auch für unbewegte Komponenten sind die Koppler oftmals die ideale Lösung, beispielsweise wenn Trennwände aus nichtmetallischem Material überbrückt werden müssen.

## Funktionsweise der Induktivkoppler

Die in der Schutzart IP67 ausgeführten Kopplergehäuse schützen die innenliegende Elektronik und den zur Übertragung nötigen Spulensatz vor Umwelteinflüssen wie Wasser und Staub. Die Elektronik der stationären (Base) Einheit wandelt die Gleichspannung in eine Wechselspannung mit, je nach Koppler, Frequenzen zwischen 50 und 200 kHz um. Die Energieübertragung erfolgt, indem die Wechselspannung von dem Spulensatz im stationären Teil in ein wechselndes Magnetfeld umgewandelt wird und in Richtung mobile Seite (Remote) über den Luftspalt abgestrahlt wird. Auf der mobilen Seite erfolgt wiederum die Umwandlung des eingefangenen Magnetfeldes in eine elektrische Spannung mit Hilfe des Spulensatzes. Für die Signalübertragung wird ebenfalls ein Wechselmagnetfeld mit Frequenzen von 1 MHz bis 30 MHz erzeugt. Die Signalübertragung erfolgt durch



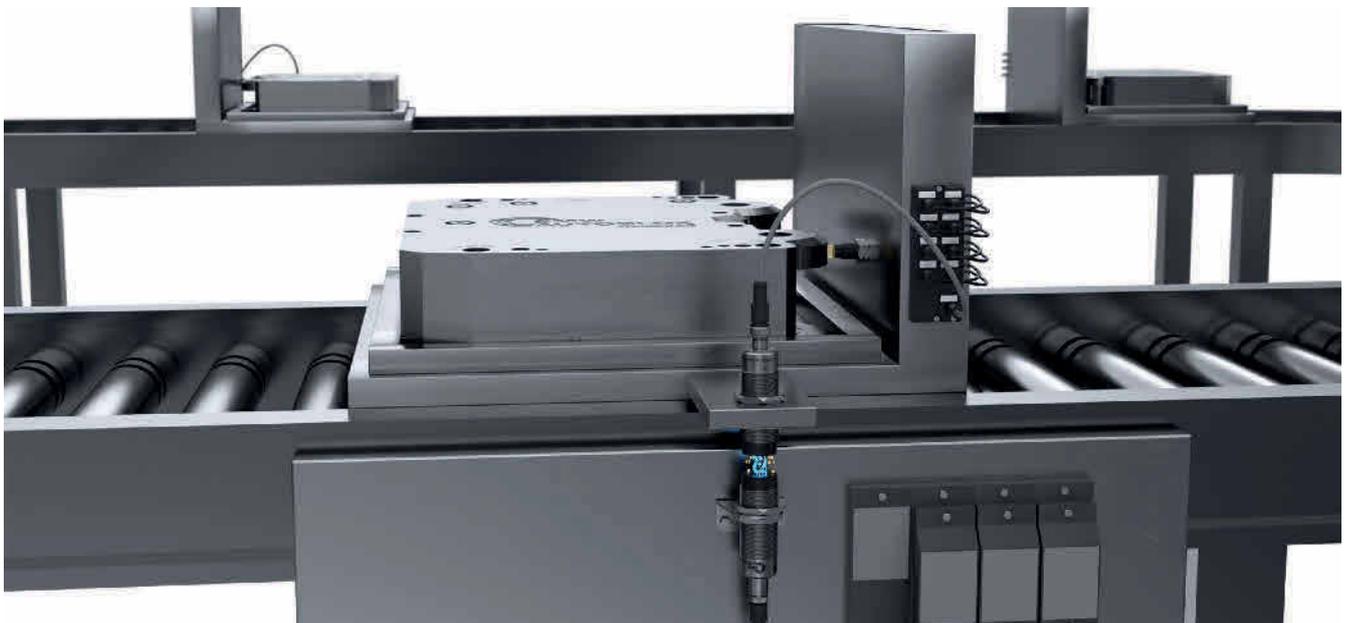
**Bild 2:** Die zylinderförmigen Koppler sind ideal geeignet für Transportsysteme oder Applikationen, bei denen etwas angekoppelt wird. Foto: SMW-electronics

Modulation (Senderseite) und Demodulation (Empfängerseite) der sinusförmigen Grundschwingung. Analoge Koppler übertragen die Signale innerhalb von 4 bis 5 ms, digitale Koppler innerhalb von 1 ms. Bei Kopplern für Ethernet oder IO-Link beträgt die interne Durchlaufzeit nur etwa 10 µs. Je nach Koppler können dabei Luftspalte und nichtmetallische Hindernisse von 2 bis 10 mm überbrückt und ein Winkelversatz bis 20° ausgeglichen werden.

Aufgrund der potentialfreien Nahfeldübertragung über einen Luftspalt ergibt sich eine große Flexibilität in der Applikation. So kann man beispielsweise innerhalb eines Toleranzfeldes Versatz zwischen mobiler und stationärer Seite

ausgleichen. Die Koppler können auch bei sehr hohen Drehzahlen, unter rauen Umgebungsbedingungen oder in Reinraumapplikationen eingesetzt werden.

Standardmäßig stehen Koppler für die Leistungsübertragung von 1 bis 1500 W zur Verfügung. Für kundenspezifische Anwendungen können auch Systeme für höhere Leistungen entwickelt werden. Begrenzender Faktor ist hier die zur Verfügung stehende Koppelfläche: Je größer diese ist, umso mehr Leistung kann auch übertragen werden. Die Signale können in Form von Analogsignalen (0–10 V/4–20 mA), Digitalsignalen (PNP), Ethernet-basierende Feldbusse, I/O-Link und CAN-Bus erfolgen.



**Bild 3:** Bei Conveyor-Systemen arbeitet eine Base-Einheit mit vielen Remote-Einheiten zusammen. Foto: SMW-electronics

## Anwendungsbeispiele für Radialkoppler

Die Radialkoppler wurden insbesondere für Maschinen entwickelt, bei denen auf eine sich bewegende Maschinenkomponente oder eine rotierende Welle die Übertragung von Energie und Signalen erfolgen soll. Anwendungsbeispiele dafür sind:

- **Werkzeugmaschinen:**

Mit den induktiven Kopplersystemen lässt sich zum Beispiel in einem Spannfutter auch während der Rotation permanent die Spannkraft überwachen. Auch endlos rotierende Applikationen sind mit den Induktivkopplern so problemlos realisierbar.

- **EOAT (End of Arm Tooling) bei Robotern:**

Die elektromechanischen Greifer von Robotern beschleunigen teilweise so hochdynamisch, dass bei Verwendung von Kabeln diese nach einer gewissen Zeit durch die entstehenden Kräfte brechen. Aufgrund der berührungsfreien Übertragung von Energie und Signalen an die Greifer wird diese Gefahr gebannt. Sollte an dem Greifer eine Kamera installiert sein, erfolgt die schnelle Signalübertragung mittels Ethernet. Weiterer Vorteil: Die induktiven Koppelsysteme können durch die verschleißfreie Übertragung auch in Reinraumanwendungen verwendet werden.

## Anwendungsbeispiele für zylinderförmige Koppler

Die zylinderförmigen Induktivkoppler unterstützen wie alle Kopplersysteme das Dynamic Pairing. Das heißt, die stationäre Einheit kann mit einer Vielzahl an unterschiedlichen mobilen Einheiten gleicher Bauart kommunizieren. Die Kommunikation einer Remote-Einheit mit verschiedenen Base-Einheiten ist ebenfalls möglich. Immer wenn Remote und Base sich gegenüberstehen, verbinden diese sich innerhalb von circa 100 ms miteinander, sodass die Energie- und Signalübertragung erfolgen kann. Die Koppler sind somit ideal geeignet für Transportsysteme oder Applikationen, bei denen etwas angekoppelt wird. Dies können beispielsweise sein:

- **Conveyor-System (Förderanlagen-system):**

Dabei arbeitet eine Base-Einheit mit vielen Remote-Einheiten zusammen. Beispielsweise wird diese Lösung genutzt,



**Bild 4:** Endlos drehende Applikationen sind durch die berührungsfreie Übertragung von Energie und Signalen problemlos realisierbar. Foto: SMW-electronics

wenn auf einem Produktionsband Werkstückträger gefördert werden. Auf diesen sind dann die Remote-Einheiten angebracht. Fahren die Werkstückträger an der Base vorbei, werden Base und Remote innerhalb von 100 ms gekoppelt und die Energie- und Signalübertragung kann erfolgen. Die zylinderförmigen Koppler können wie die Radialkoppler durch den verschleiß- und verschmutzungsfreien Betrieb auch in Reinraumanwendungen eingesetzt werden.

- **Mobile Maschinen:**

Auch für diese robusten Anwendungen stehen schockresistente zylinderförmige Koppler in IP67 zur Verfügung. Beispielsweise kann durch die Induktivkoppler ein schneller und mannloser Werkzeugwechsel, zum Beispiel das Anbringen von unterschiedlichen Sortiergreifern an Baggern, schnell und einfach realisiert werden. Dafür wird am Aufnehmer des Baggerarms die Base befestigt und an den Sortiergreifern jeweils eine Remote-Einheit. Beim Wechsel wird der Greifer innerhalb von 100 ms für die zuverlässige Kommunikation zwischen Bagger und Anbauwerkzeug gekoppelt. Der Fahrer muss dafür die Baggerkabine nicht verlassen. Verschleißbehaftete und schmutzanfällige Stecker gehören somit der Vergangenheit an. Die Signalqualität wird auch bei den in Baumaschinen auftretenden starken Vibrationen und Stößen nicht beeinträchtigt.

Bei den Kopplern in Scheibengeometrie kann man beispielsweise eine Welle durchführen oder eine Medienübertragung in Form eines Drehverteilers für Fluide oder Gase realisieren. Weitere Vorteile der Radialkoppler sind die Höhe der übertragbaren Leistung sowie die Möglichkeit, auch komplexere Signale wie beispielsweise für Ethernet-basierende Feldbusse oder Analogsignale zu übertragen. Bei Bedarf können die Koppler auch kundenspezifisch angepasst werden. Ein umfangreiches Zubehörprogramm, beispielsweise mechatronische Greifer, Sensorik, Spanntechnik, I/O-Link Sensor Hubs, Kabel, rundet das Angebot ab. ■

### Kontakt

SMW-electronics GmbH  
88074 Meckenbeuren  
Tel. (0 75 42) 4 05 - 0  
info@smw-electronics.de  
www.smw-electronics.de

# Fachteil Ingenieur-Werkstoffe



Homogene CVD-Diamantbeschichtungen sorgen für lange Standzeiten und hohe Prozesssicherheit, zum Beispiel beim OptiMill-Composite-Speed-Plus Vollhartmetallfräser für CFK-Werkstoffe. Foto: Mapal

## BESCHICHTUNGEN

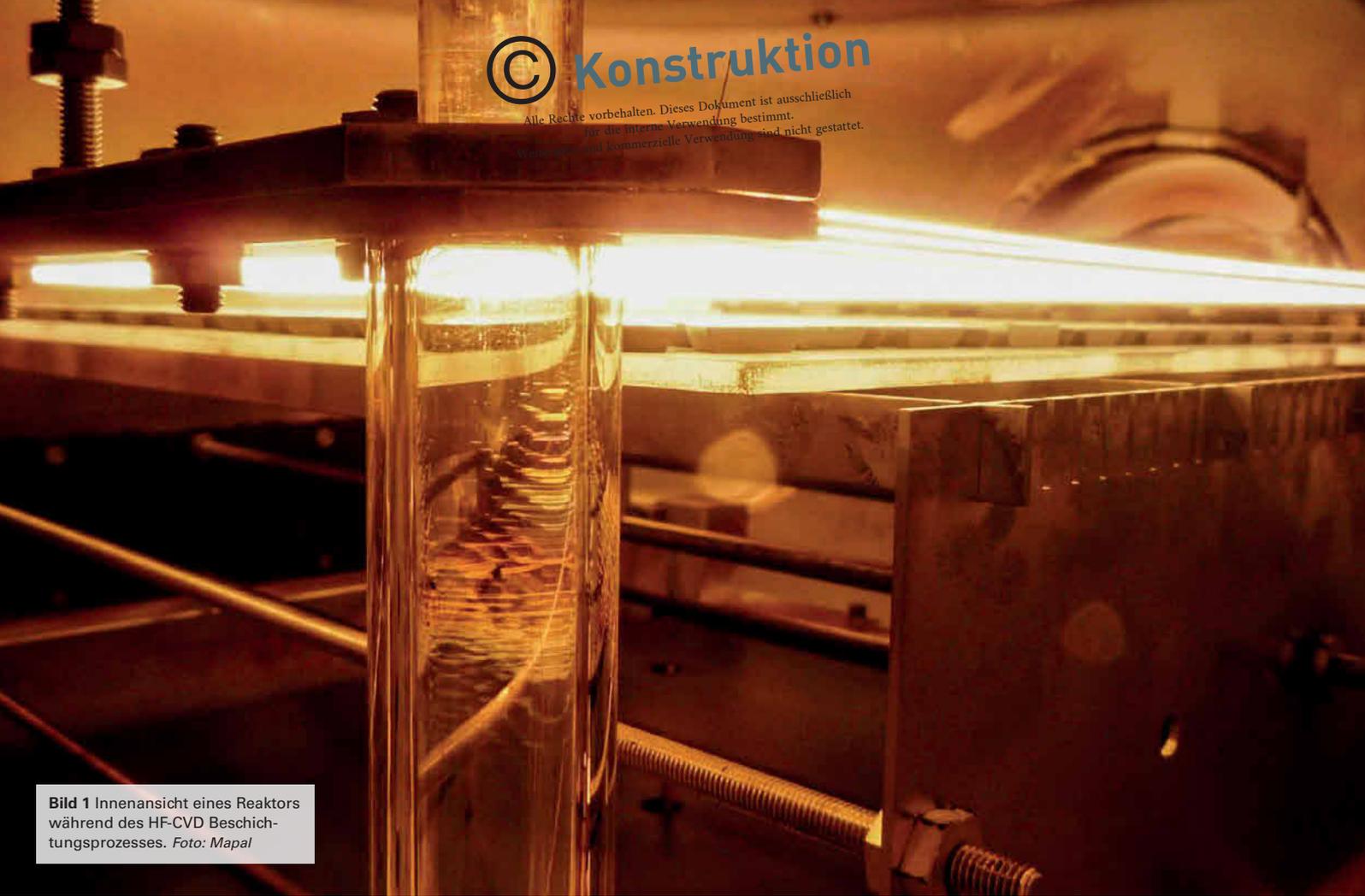
Neue PU-Dispersion ist zu einem Drittel biobasiert

## BAUMATERIALIEN

Bambus-Naturfasern für Verbundwerkstoffe auf Zementbasis

## KLEBEN

Vorbild Miesmuschel: Druckbarer Klebstoff für Gewebe und Knochen



**Bild 1** Innenansicht eines Reaktors während des HF-CVD Beschichtungsprozesses. Foto: Mapal

## Beschichtungstechnologien

# Diamantschichten nach Maß

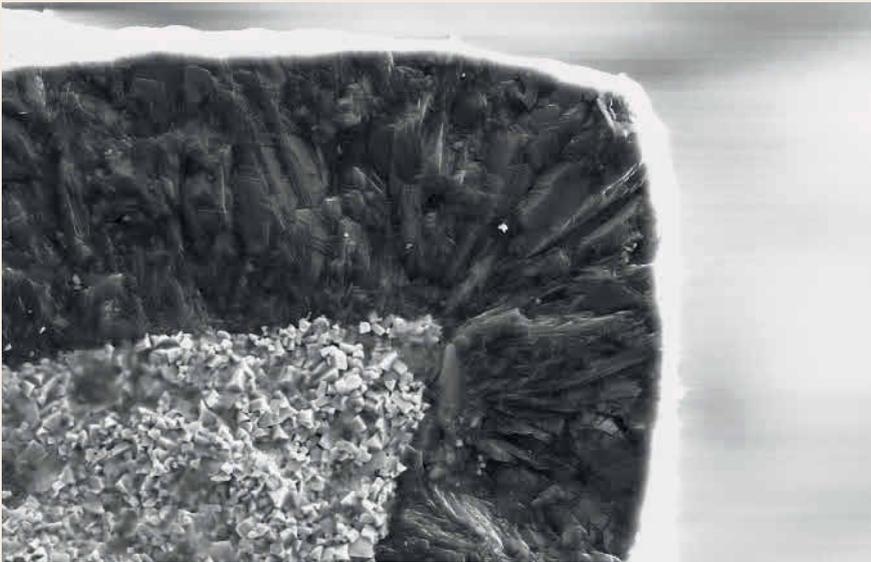
Mapal entwickelt unter anderem extrem harte und verschleißbeständige Diamantschichten zur Zerspaltung von Materialien wie CFK, Keramik, Graphit und Aluminiumlegierungen.

Vor allem für Anwendungen in der Automobil- und Luftfahrtindustrie, im Werkzeug- und Formenbau und in der Medizintechnik erreichen die Zerspaltungslösungen des Herstellers höhere Standzeiten und mehr Prozesssicherheit.

**D**er Werkzeughersteller Mapal verfügt an seinem Standort in Aalen sowie in seinen Kompetenzzentren über Beschichtungstechnologien, um Wendschneidplatten und Vollhartmetallwerkzeuge mittels PVD- oder CVD-Verfahren zu beschichten.

Die Auswahl des Verfahrens richtet sich nach den jeweiligen Anwendungsparametern. Für die Trockenbearbeitung und hohe Schnittgeschwindigkeiten wird in der Regel CVD gewählt, bei instabilen Bearbeitungssituationen oder schwierigen Zerspaltungsbearbeitungen kommen die zäheren PVD-Schichten zum Einsatz.

Kommt es beim Bearbeiten von Werkstoffen vermehrt zu adhäsiven Verschleißvorgängen, ist der Einsatz von diamantähnlichen Kohlenstoffschichten (DLC) sinnvoll. DLC-Schichten werden ebenfalls mit PVD oder einem plasmaunterstützten CVD-Verfahren abgeschieden. Diese Schichten werden von einer Mischung aus



**Bild 2** REM-Aufnahme der Bruchkante eines diamantbeschichteten Vollhartmetallwerkzeugs, Vergrößerung: 3000-fach. Foto: Mapal



**Bild 3** Die homogene CVD-Diamantbeschichtung von Mapal sorgt für lange Standzeiten und hohe Prozesssicherheit, zum Beispiel beim OptiMill-Composite-Speed-Plus Vollhartmetallfräser für CFK-Werkstoffe. Foto: Mapal

sp<sup>2</sup>-hybridisierten Kohlenstoffatombindungen (Graphit) und solchen mit sp<sup>3</sup>-Hybridisierung (Diamant) gebildet. Das Mischungsverhältnis bestimmt dabei die physikalisch-mechanischen Eigenschaften der Schichten. Je mehr sp<sup>3</sup>-Atombindungen enthalten sind, desto härter ist die Schicht.

### Neue Beschichtungsverfahren dank CVD-Diamant-Reaktoren

Zum Fräsen oder Bohren stark abrasiver Materialien sind reine Diamantschichten erforderlich. Das in der Mapal Gruppe eingesetzte Verfahren zur Synthese von Diamantschichten ist eine Abwandlung

des rein thermischen CVD und nennt sich Hot-Filament-CVD, kurz HF-CVD. Für die Beschichtung von Schaftwerkzeugen sind herkömmliche CVD-Schichten ungeeignet, weil es aufgrund der Werkzeuglängen und der hohen Beschichtungstemperaturen meist zu einem Längenverzug kommt. Bei HF-CVD erhitzen Drähte aus Refraktärmetallen ein Gemisch aus Wasserstoff und Methan auf Temperaturen bis zu 2500 Grad. Dabei bilden sich sehr reaktive Methylradikale, die sich nach und nach auf der bekeimten Hartmetalloberfläche als Diamantschicht abscheiden. Mapal stehen dafür eigene CVD-Diamant-Reaktoren zur Verfügung.

"In den vergangenen Jahren haben wir uns intensiv mit der Verbesserung des Diamantbeschichtungsprozesses beschäftigt und Mapal bei der Werkzeugherstellung neue Möglichkeiten eröffnet", berichtet Dr. Martin Kommer, Teamleiter R&D Cutting Material/Coating bei Mapal. Der Werkzeughersteller hat nun nach eigenen Angaben die komplette Werkzeugauslegung von der passenden Geometrie über die Auswahl eines geeigneten Hartmetalls bis hin zur Beschichtung in der eigenen Hand. Damit können Werkzeuge noch gezielter auf die Anforderungen der Kunden hin ausgelegt werden. Die Entwicklungsabteilung in Aalen verfügt über ein eigenes Zerspanungszentrum, das neue Werkzeuge unter anderem auf Standzeit und Verschleißverhalten untersucht.

### Geeignete Substrate evaluieren

Da der Beschichtungsprozess über eine chemische Reaktion in Kombination mit einer mechanischen Verklebung funktioniert, sind bei der Vorbehandlung das definierte Ätzen der Hartmetalloberfläche und eine Bekeimung wichtig. Weil dafür nicht jedes Hartmetall infrage kommt, evaluiert Mapal geeignete Substrate. Ob bei der Beschichtung feinkörnige mikrokristalline oder nanokristalline Schichten entstehen, wird über Temperatur, Druck und Fluss der jeweiligen Reaktivgase während des Prozesses gesteuert. Theoretisch können per HF-CVD Schichten bis zu einer Dicke von 50 µm erzeugt werden. Für die Beschichtung seiner Werkzeuge beschränkt sich MAPAL derzeit auf den Bereich zwischen 3 µm und 15 µm, abhängig der jeweiligen Anwendung.

Der optimierte HF-CVD-Prozess erzeugt Schichten mit nahezu homogener Dicke, was Mapal bei der Entwicklung seines OptiMill-Composite-Speed-Plus nutzt. In der jeweiligen Zerspanungsanwendung kann damit die gesamte Schneidlänge unabhängig von der Schnitttiefe prozesssicher genutzt werden. ■

### Kontakt

Mapal Fabrik für Präzisionswerkzeuge  
Dr. Kress KG  
Obere Bahnstraße 13  
73431 Aalen  
www.mapal.com

Neue PU-Dispersion ist zu einem Drittel biobasiert

# Nachhaltigere Textilbeschichtungen

Im Sinne des Klimaschutzes wendet sich die Industrie schrittweise von Erdöl und anderen fossilen Rohstoffen ab und nutzt alternativ Rohstoffe aus erneuerbaren Quellen. Covestro setzt deshalb verstärkt auf alternative Rohstoffe, unter anderem aus Biomasse.

**A**ls besonders umweltschonend bezeichnet Covestro die Textilbeschichtung unter dem Namen Impranil CQ DLU - eine neue aliphatische Polyestercarbonat-Polyetherpolyurethan (PU)-Dispersion, bei der der enthaltene Kohlenstoff zu rund 34 Prozent pflanzlichen Ursprungs ist. Dieses Produkt erweitert das bestehende Sortiment an teilweise biobasierten Dispersionen für die Textilbeschichtung um ein Produkt, dessen rein erdölbasierte Variante Impranil DLU bei Kunden sehr beliebt ist.

Da die neue Dispersion die gleichen Eigenschaften wie das etablierte Produkt sowie einen hohen Feststoffgehalt von 55 Prozent besitzt, können die Anwender\*innen Impranil DLU in ihren Verarbeitungsprozessen nun eins zu eins durch Impranil CQ DLU ersetzen. Darin steht CQ für „Circular Intelligence“. Kerngedanke des CQ Konzepts ist es, Produkte von Covestro mit einem Label zu kennzeichnen, wenn die alternative Rohstoffbasis - so wie in diesem Fall - einen Gehalt von 25 Prozent übersteigt.

## Besonders nachhaltige Textilbeschichtungen

Bereits das etablierte Impranil DLU ermöglicht als Rohstoff der Insquin Technologie die wässrige Textilbeschichtung ohne Einsatz von Lösemitteln. Der ökologische Fußabdruck einer solchen Beschichtung ist bedeutend geringer als der von lösemittelhaltigen Systemen. „Mit der Innovation Impranil CQ DLU als Teil unseres Impranil CQ Portfolios ermöglichen wir es der Textilbeschichtungsindustrie nun, durch den vermehrten Einsatz erneuerbarer Ressourcen den nächsten Schritt hin zu mehr Nachhaltigkeit zu gehen“, sagt Dr. Torsten Pohl, Head of Global Textile Coatings von Covestro.

Impranil CQ DLU eignet sich unter anderem, um synthetische Materialien für Sportartikel, technische Textilien, den Autoinnenraum und Taschen herzustellen. Zu den Eigenschaften von Beschichtungen, die auf der neuen Hochleistungsdispersion beruhen,



Covestro bietet unter dem Namen Impranil CQ DLU eine neue wässrige und teilweise biobasierte PU-Dispersion an, mit der unter vielem anderem Verkleidungen für den Autoinnenraum hergestellt werden können. Foto: Covestro

gehören eine hohe Hydrolysebeständigkeit, eine sehr gute Leuchtechtheit sowie eine hohe Zug- und Kratzfestigkeit. Weiterhin zeichnen sich die Beschichtungen dadurch aus, dass sie sich angenehm anfühlen und Laugen gut widerstehen. Impranil CQ DLU ist sowohl für den Zwischenstrich als auch für den Deckstrich einsetzbar. Die Dispersion kann dabei auf verschiedene Arten aufgetragen werden: Das Spektrum reicht von der Direkt- oder Transferbeschichtung über Druckverfahren bis hin zum Mikrofasert-Tauchverfahren. ■

## Kontakt

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

Neuer technischer Kunststoff für Gehäuse medizintechnischer Kleingeräte

# Schlagzäh und UV-beständig

Werkstoffe für medizinische Kleingeräte sollten nicht nur besonders schlagfest und beständig gegen UV-Strahlen sein, sie müssen auch handelsüblichen Reinigungs- und Desinfektionsmitteln trotzen. Ein neuer schlagzäher ASA-Typ Kunststoff wurde speziell für Gehäuse medizinischer Kleingeräte entwickelt.

**U**ltrapolymers hat sein Portfolio technischer Kunststoffe für die Medizin- und Pharmatechnik um den neuen ASA-Typ Luran S MED 797S SPF30 erweitert, den Ineos Styrolution speziell für Gehäuse kleiner medizintechnischer Geräte entwickelt hat. Er kombiniert hohe Schlagzähigkeit mit UV-Beständigkeit, ist leichtfließend für eine einfache Verarbeitung und beständig gegen die branchenüblichen Reinigungs- und Desinfektionsmittel. Für die Variante ECO MED 797S SPF30 BC40 kommen erneuerbare Rohstoffe zum Einsatz.

Wie für Acrylnitril-Styrol-Acrylat-Copolymere (ASA) typisch, verbinden auch die beiden neuen Luran S MED-Typen eine hohe Beständigkeit gegen Spannungsrisse und UV-Strahlen mit einer im Vergleich zu Standard-ABS deutlich höheren Schlagfestigkeit. Diese hilft, Bruchschäden am Gehäuse zu vermeiden, wenn ein Gerät zu Boden fällt. Damit hergestellte Spritzgussteile heben sich durch hochwertige, glänzende Oberflächen hervor, die kratzfest und leicht zu reinigen sind und damit primäre Anforderungen dieses Anwendungsbereichs erfüllen.

## Für den Einsatz in klinischen Umgebungen geeignet

Beide neuen Typen vereinen zudem laut Hersteller sehr gute Beständigkeiten gegen Alkohole, wie Isopropylalkohol (IPA),



Ultrapolymers hat einen neuen, schlagzähen ASA-Typ im Portfolio, der sich speziell für Gehäuse medizintechnischer Kleingeräte eignet. Foto: istockphoto/VictorManuelMuleroRamirez

Ethanolalkohol (EtOH) oder Propanol sowie Desinfektionsmittel auf Basis von Alkohol, quaternärem Ammonium oder Glutaral. Dadurch bleibt die hohe Oberflächenqualität auch im täglichen Gebrauch langfristig erhalten. Dank der ebenfalls guten Beständigkeit gegen branchenübliche Desinfektionsmittel wie Malsept SF, Hexaquant Meliseptol Rapic oder Meliseptol eignen sich diese Materialien auch für den Einsatz in klinischen Umgebungen.

Sowohl der MED- als auch der ECO-MED-Typ ist naturfarben und in Weiß erhältlich. Die ECO-MED-Variante mit dem Zusatz BC40 enthält 40 Prozent erneuerbare Rohstoffe. Dadurch verringert sich der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck um bis

zu 52 Prozent gegenüber Luran S auf fossiler Basis. Zu den typischen Anwendungen gehören Gehäuse für Blutdruck-, Blutzucker- und Sauerstoffmessgeräte, Digital-Thermometer und Injektorstifte. Wie im Bereich Medizintechnik üblich, weist dieses Produkt einen Notification of Change (NoC) von bis zu 12 Monaten auf. ■

## Kontakt

Ultrapolymers Deutschland GmbH  
Unterer Talweg 46  
86179 Augsburg  
www.ultrapolymers.com



**Bild 1** Die werkstofftypischen Eigenschaften von Edelstahl Rostfrei machen ihn zum bewährten Klassiker für Hochtemperaturspeicher. Foto: WZV / Hans van Bebber Heizungsbau

Idealer Werkstoff für den „heißen Einsatz“

# Edelstahl für Hochtemperaturspeicher

Industrieunternehmen, Energieversorger, Biomasseheizkraftwerke und Müllverbrennungsanlagen stehen vor großen Herausforderungen: Politische Vorgaben und Druck von Kunden und Investoren zur Dekarbonisierung der Prozesse müssen mit steigender Kosteneffizienz, mangelnder Planbarkeit von Angebot und Nachfrage erneuerbarer Energiequellen sowie Kostenunsicherheit bei fossilen Energien in Einklang gebracht werden. Hochtemperaturspeicher sind ein Schlüsselement zur Integration volatiler Energiequellen in die Wärmeversorgung. Sie bieten viel Potenzial für die notwendige Prozesseffizienz und Flexibilität für Industrie, Strommarkt und Sektorenkopplung. Mechanische Belastung, hohe Temperaturen sowie Korrosivität der eingesetzten Wärmeträger und Speichermedien stellen hohe Anforderungen an die in den Speicherkonstruktionen eingesetzten Werkstoffe. Die werkstofftypischen Eigenschaften von Edelstahl Rostfrei machen ihn zum bewährten Klassiker für den Bau von Wärmetauschern, Dampferzeugern, Hochtemperaturrohren oder Salzschnmelze-Speichertanks.

**O**b zum Spitzenlastausgleich, für eine effiziente Abwärmenutzung oder sichere Dampfversorgung: Hochtemperaturspeicher erhöhen die Sicherheit der Strom-, Wärme- und Dampfversorgung und reduzieren gleichzeitig die Abhängigkeit von regenerativen und fossilen Energiequellen. Überall, wo schnell Wärme ein- und gespeichert werden muss oder sehr hohe Temperaturen im Prozess gebraucht werden, sind thermische Energiespeicher unverzichtbar. Die zur Auswahl stehenden Speicherarten werden unterschieden nach Temperatur, Speicherdauer und thermodynamischem Prinzip. Hochtemperaturspeicher arbeiten bei Temperaturen von über 500 °C, Mitteltemperaturspeicher von 120 bis 500 °C und Niedertemperaturspeicher bei Temperaturen unter 120 °C. Optimal ausgeschöpft werden die Vorteile von Energiespeichern durch eine kluge Kombination aus Kurzzeitspeichern, deren Kapazitäten von einigen Stunden bis zu wenigen Tagen reichen, und Langzeitspeichern für wenige Wochen bis zu einem Jahr.

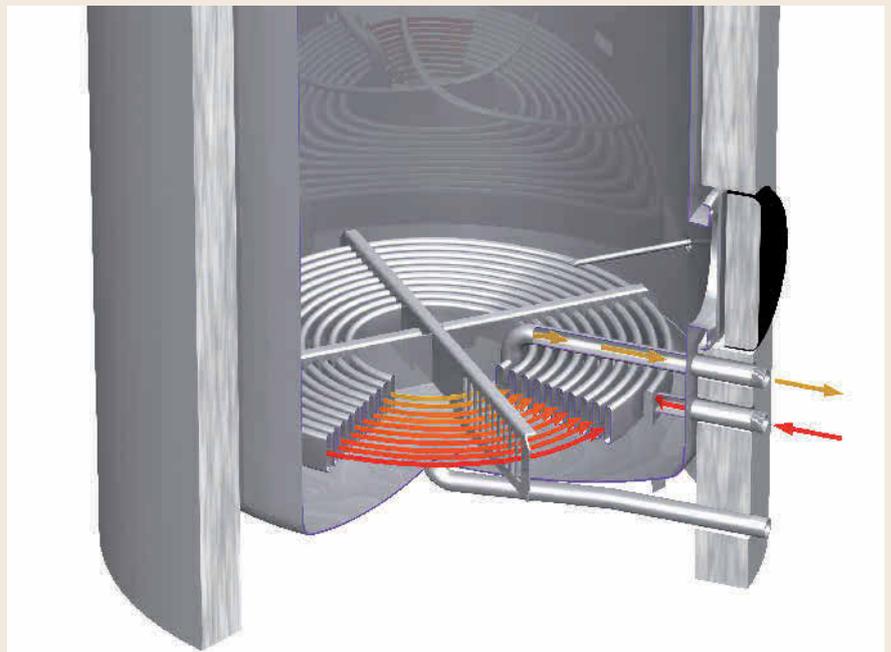
### Breites Technologiespektrum

Die Auswahl der jeweils geeigneten Speichertechnologie hängt maßgeblich vom erforderlichen Temperaturbereich und dem eingesetzten Wärmeträgermedium ab. Bei thermodynamischen Wärmespeichern unterscheidet man zwischen sensiblen, latenten, thermochemischen und elektrothermischen Speichern. Sensible Wärmespeicher speichern die Wärmeenergie durch Erhöhung der Temperatur eines Wärmeträgermediums wie Wasser, Thermalöl, Salz oder Gas. Die speicherbare Energiemenge ist abhängig von der spezifischen Wärmekapazität des Mediums.

Diese ist beispielsweise bei Wasser sehr hoch. Aus hochwertigem Edelstahl gefertigte Pufferspeicher sind deshalb im Niedrigtemperaturbereich bis 100 °C zur Wärmeversorgung sehr verbreitet. Ihre Rund- und Längsnähte sowie alle Anschlüsse werden unter formierter Schutzgasatmosphäre geschweißt. Abschließend erhält der Speicher eine Tauchbeizung mit nachfolgender Passivierung der Oberfläche. Integrierte Flachrohrregister aus Edelstahl erhöhen nicht nur den Wirkungsgrad des Speichers bei zugleich verringertem Gewicht, sondern überzeugen auch durch ihre Robustheit bei der Mon-



**Bild 2** Hochtemperaturspeicher sind ein Schlüsselement zur Integration volatiler Energiequellen in die Wärmeversorgung. Foto: WZV / Hans van Bebber Heizungsbau



**Bild 3** Integrierte Flachrohrregister aus Edelstahl Rostfrei überzeugen durch ihre Langlebigkeit. Foto: Ecotherm Austria

tage, Wartungsarmut und Langlebigkeit. Oberhalb von 100 °C steigt der Dampfdruck beim Einsatz von Wasser stark an, was zu höheren Anforderungen an die Behälter und damit auch zu höheren Kosten führt. Für Temperaturen von 100 °C bis 400 °C kommen derzeit vor allem Thermalölspeicher zum Einsatz. Das Fluid hat jedoch eine geringere Wärmeleitfähigkeit als Wasser.

Ein zunehmend breites Einsatzspektrum bieten Flüssigsalzspeicher, die ebenfalls zu den sensiblen Speichern zählen. Ihre Salzschmelze wird aus konzentrierter Solarwärme, überhitztem Dampf oder Abwär-

me drucklos auf Temperaturen von 250 bis zu 565 °C erhitzt und kann die Wärme für mehrere Stunden und sogar Tage speichern. Bewährter Werkstoff für die Konstruktion dieser Speicher ist Edelstahl der Güte 1.4961. Er erlaubt bei hohen Temperaturen dünnere Wandstärken von Rohren, Behältern und Apparaten. Für diesen rostfreien, hochlegierten Chrom-Nickel-Molybdänstahl spricht neben guter allgemeiner Korrosionsbeständigkeit die hohe Beständigkeit gegen interkristalline Korrosion im geschweißten Zustand. Gute Umformbarkeit und Schweiß Eigenschaften qualifizieren ihn überdies für den

Einsatz in den hochbeanspruchten Aggregaten. Flüssigsalzspeicher sind großtechnisch vor allem in solarthermischen Kraftwerken im äquatornahen Sonnengürtel verbreitet. Dort speichern sie Überschussstrom aus der Sonnenenergie, um diesen beispielsweise in der Nacht wieder bereitzustellen. Jedoch finden sie auch in der Industrie zur Abwärmenutzung und Versorgung von Dampfturbinen vermehrt Anwendung.

Latente Wärmespeicher nutzen Phasenwechselmaterialien (Phase Change Materials, PCM), um Energie zu speichern. Durch Änderung ihres Aggregatzustands, in der Regel zwischen flüssig und fest, erfolgt die Energieaufnahme und -abgabe nahezu isotherm. Ihre Speicherkapazität wird durch das gewählte Speichermedium und -volumen bestimmt. Einige Phasenwechselmaterialien haben Schmelztemperaturen von weit über 1000 °C. Zudem ist die Energiedichte bei latenten Wärmespeichern höher als bei sensiblen. Dies prädestiniert diese Speicherart für die Nutzung von Abwärme aus industriellen Prozessen, die in einem weiten Temperaturbereich anfällt. Derzeit sind diese Speicher im großindustriellen Maßstab jedoch noch in der Erprobung.

Thermochemische Wärmespeicher nutzen chemische Reaktionen, um Wärmeenergie zu speichern und abzugeben. Diese Technologie ist aktuell erst in der Grundlagenforschung. Elektrothermische Energiespeicher wandeln elektrische in thermische Energie um und speichern diese in Form von Strom, Wärme oder Kälte in großem Maßstab. Dadurch erlauben sie das modulare Zusammenspiel verschiedener Sektoren wie Prozessindustrie und Energieversorger, Fernwärme- und Kältenetze. Sie stellen Wärme bedarfsgerecht für vielfältige industrielle Anwendungen oder Heizungsanlagen von Krankenhäusern und Schulen zur Verfügung und können gleichzeitig Kälte beispielsweise zur Kühlung von Rechenzentren bereitstellen.

## Steigender Bedarf in der Industrie

Der Bedarf an Hochtemperaturspeichern wird in der Industrie nach Einschätzung von Herstellern und Forschern in den kommenden Jahren stark steigen. Anspruchsvolle Strategien für die geforderte Klimaneutralität, steigende Anzahl von Net-Zero-Roadmaps bei großen Verbrauchern sowie zunehmende Kostenunsicher-



**Bild 4** Flachrohrregister aus Edelstahl erhöhen in sensiblen Wärmespeichern den Wirkungsgrad des Speichers. Foto: Ecotherm Austria

heit bei fossilen Brennstoffen sind in der Industrie starke Treiber für die Unterstützung der Prozesse mit Speichertechnologien. Energieintensive Branchen wie die Eisen- und Stahl-, Papier- und Zellstoff-, Chemie- und Petro-, Zement- und Klinker-, Glas- und Lebensmittelindustrie er-

zeugen erhebliche Mengen an Abwärme, die oftmals ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird. Gleichzeitig haben diese Industrien einen sehr hohen Bedarf an Strom und hochwertiger Prozessenergie. So benötigt beispielsweise die Papier- und Zellstoffindustrie für den Betrieb der Pro-



**Bild 5** Pufferspeicher aus Edelstahl rostfrei speichern und stellen erzeugte Wärmeenergie bereit. Foto: WZV / Lipp



**Bild 6** Bewährter Werkstoff für die Konstruktion von Pufferspeichern ist Edelstahl Rostfrei, der bei hohen Temperaturen dünnere Wandstärken von Rohren, Behältern und Apparaten erlaubt. Foto: WZV / Hans van Bebber Heizungsbau



**Bild 8** Mechanische Belastung, hohe Temperaturen sowie Korrosivität der eingesetzten Wärmeträger und Speichermedien stellen hohe Anforderungen an die in den Speicherstrukturen eingesetzten Werkstoffe. Foto: Viessmann

duktionsanlagen große Energiemengen in Form von Strom, um mit Hilfe von 100 bis 500 °C heißem Prozessdampf und hohem Druck den Papierfasern und -bahnen das zur Herstellung notwendige Wasser wieder zu entziehen. Die Speicherung von Dampf und Wärme aus erneuerbarem Strom und Abwärmerückgewinnung trägt hier maßgeblich zu Nachhaltigkeit, Prozessstabilität und Kosteneffizienz bei.

In der Chemie- und Petroindustrie ist Wasserdampf neben Gas der wichtigste Energieträger und wird zum Trocknen von Produkten, Aufheizen von Reaktoren und Destillieren benötigt. Gas wird zudem nicht nur als Energieträger benötigt, sondern ist auch ein wichtiger Rohstoff für Produkte wie Ammoniak. Die Umstellung auf klimafreundliche Dampfversorgung und thermische Energiespeicherung trägt folglich in dieser Branche erheblich zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und zur Verringerung der Abhängigkeit vom fossilen Energieträger Gas bei. Für Brennprozesse in der Zement- und Klinkerindustrie oder Schmelzprozesse in der Glasindustrie sind Temperaturen von bis zu 1200 °C erforderlich. Speicherlösungen, die hier die Abwärme nutzen und als Dampf oder Strom bereitstellen, leisten einen entscheidenden Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit und Klimaneutralität der Unternehmen und können obendrein nahe gelegene Verbraucher bedarfsgerecht versorgen.

Energieversorger und Kraftwerke unter Handlungsdruck Energiewende, steigende Energiekosten sowie das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) erhöhen den Handlungsdruck für Kraftwerke und regio-



**Bild 7** Korrosionsbeständigkeit und gute Umformbarkeit qualifizieren Edelstahl Rostfrei für den Einsatz in den hochbeanspruchten Aggregaten. Foto: Ecotherm Austria

nale Energieversorger, die volatile Energieerzeugung von erneuerbaren Energien durch Energiespeichersysteme zu unterstützen. Biomasseheizkraftwerke steigern ihre Profitabilität und Flexibilität mit Pufferspeichern aus Edelstahl Rostfrei, um die erzeugte Wärmeenergie zu speichern und bereitzustellen. Für regionale Energiever-



**Bild 9** Wellrohre aus Edelstahl Rostfrei widerstehen zuverlässig den hohen Belastungen durch Druck, aggressive Medien, Temperatur oder Vibration, die in Prozessen mit Hochtemperaturspeichern typisch sind. Foto: WZV / Sani-Flex

sorger sind thermische Speichersysteme von zentraler Bedeutung, um Strom und Wärme in Fernwärmenetzen zeitlich zu entkoppeln, regenerative Energien zu speichern und bedarfsgerecht bereitzustellen. Längsgeschweißte Wellrohre aus Edelstahl Rostfrei der Güte 1.4404 bewähren sich in vielen dieser Speichersysteme beispielsweise als Förderleitungen für korrosive flüssige und gasförmige Medien. Sie widerstehen zuverlässig den hohen Belastungen durch Druck, aggressive Medien, Temperatur oder Vibration, die für diese Prozesse typisch sind. ■

#### Kontakt

Warenzeichenverband Edelstahl Rostfrei e.V.  
Sohnstraße 65  
40237 Düsseldorf  
[www.wzv-rostoffrei.de](http://www.wzv-rostoffrei.de)



**Bild 1** Durch die Integration von Hochofen und Kokerei sowie das konsequente Recycling von Prozessgasen und -wärme kann der CO<sub>2</sub>-Ausstoß bei der Stahlproduktion reduziert werden. Foto: SMS group

Neues Verfahren reduziert Ausstoß von Treibhausgasen bei der konventionellen Stahlproduktion deutlich

# Roheisenherstellung wird nachhaltiger

Mehrere hundert Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr in der weltweiten Stahlproduktion einsparen, das wollen Forschende des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und der Industriepartner SMS group mit einem neuen Verfahren vorantreiben.

Dieses basiert auf der Modernisierung bestehender Hochofentechnologie mit moderaten Investitionen und wurde bereits erfolgreich in einer Pilotanlage demonstriert.

**R**und acht Prozent der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen gehen auf das Konto der Stahlindustrie. „Das muss sich ändern, und zwar schnell“, sagt Professor Olaf Deutschmann vom Institut für Technische Chemie und Polymerchemie (ITCP) des KIT. Langfristig gebe es dank neuer Wasserstofftechnologien zwar eine klimaneutrale Perspektive, doch bis dafür weltweit ausreichend grüner Wasserstoff zur Verfügung stehe und neu gebaute Anlagen in Betrieb gingen, vergingen noch einige Jahre: „In der Klimakrise haben wir

„Das Potenzial ist enorm. Wir erwarten, dass sich durch die Nachrüstung bestehender Hochöfen bei moderaten Investitionskosten etwa zwei bis vier Prozent der weltweiten direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen einsparen lassen“, so Deutschmann.

### Neues Verfahren reduziert Emissionen und spart Energie

Das neue Verfahren setzt beim Rohstoff Eisen an, den die Stahlwerke meist direkt aus Bergbauern gewinnen, in denen er in oxidierter Form vorliegt. Üblicherweise erfolgt die Reduktion, also das Entfernen des Sauer-

stoffs, mithilfe von Koks im Hochofen. Dieser liefert nicht nur als Brennstoff die notwendige Energie für die Schmelze, sondern dient gleichzeitig auch als Reduktionsmittel für die chemische Reaktion. „Koks wird speziell für diesen Zweck in einem energieintensiven Prozess aus fossiler Kohle gewonnen“, sagt Philipp Blanck vom ITCP, der eng mit SMS group an der im Stahl-

### Vorhandene Anlagen modifizieren

werk integrierten Pilotanlage zusammengearbeitet hat. „In unserem Verfahren recyceln wir CO<sub>2</sub> aus dem Hochofengas mit Kokeisgas, um ein Synthesegas mit hohem Wasserstoffanteil zu produzieren, das als Koksersatz im Hochofen genutzt werden kann.“ Um eine bestehende Anlage nachzurüsten, müssen vorhandene Heißwinderzeuger, auch Cowper genannt, modifiziert werden. In diesen Cowpern werden dann Methan und CO<sub>2</sub> aus dem Kokeisgas zusammen mit CO<sub>2</sub> aus dem Hochofengas zu Synthesegas, einem Gemisch aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid, umgesetzt. Dieser Prozess, die sogenannte Trockenreformierung, erfordert eine hohe Temperatur, die zum großen Teil aus der Prozesswärme des Hochofens gewonnen wird. Das Synthesegas wird anschließend in den Hochofen eingeblasen und unterstützt dort die Reduktion des Eisenoxids. „Pro Tonne erzeugtem Stahl können so signifikante Mengen an Koks eingespart werden, was wiederum die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen um bis zu zwölf Prozent senkt“, so Blanck. ■

„Das Potenzial ist enorm. Wir erwarten, dass sich durch die Nachrüstung bestehender Hochöfen bei moderaten Investitionskosten etwa zwei bis vier Prozent der weltweiten direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen einsparen lassen.“

dafür keine Zeit, wir müssen schon jetzt gegensteuern“, fordert Deutschmann.

Schnell einen deutlichen Effekt auch in konventionellen Anlagen erzielen ließe sich mit einem neuen Verfahren, das seine Forschungsgruppe gemeinsam mit dem Industriepartner SMS group mit Paul Wurth Entwicklungen und dem Start-up omegadot aus dem KIT demonstriert hat.

ersts, mithilfe von Koks im Hochofen. Dieser liefert nicht nur als Brennstoff die notwendige Energie für die Schmelze, sondern dient gleichzeitig auch als Reduktionsmittel für die chemische Reaktion. „Koks wird speziell für diesen Zweck in einem energieintensiven Prozess aus fossiler Kohle gewonnen“, sagt Philipp Blanck vom ITCP, der eng mit SMS group an der im Stahl-

### Kontakt

Karlsruher Institut für Technologie  
Kaiserstraße 12  
76131 Karlsruhe  
www.kit.edu



**Bild 2** Pilotanlage im Saarland, mit der das neue Verfahren zur Eisengewinnung bereits demonstriert wird. Foto: SMS group



**Nachhaltige Naturfasern** von schnellwachsenden Pflanzen wie Bambus könnten zur Verstärkung von zementären Werkstoffen eingesetzt werden und damit die CO<sub>2</sub>-Bilanz von Bauprodukten verbessern. *Foto: Fraunhofer WKI*

**Bessere CO<sub>2</sub>-Bilanz durch naturfaserverstärkte Verbundwerkstoffe auf Zementbasis**

# Mit Naturfasern nachhaltiger Bauen

In einem Forschungs- und Entwicklungsprojekt zwischen Deutschland und Brasilien wollen die Kooperationspartner die CO<sub>2</sub>-Bilanz von Bauprodukten verbessern. Dazu setzen sie beispielsweise Bambus-Naturfasern für Verbundwerkstoffe auf Zementbasis ein. Übergreifendes Ziel des internationalen Projekts ist die marktorientierte Forschung und experimentelle Entwicklung in Kooperation mit Brasilien. Erste Zwischenergebnisse wurden jetzt in Brasilien vorgestellt.

**D**as Fraunhofer WKI arbeitet gemeinsam mit der Hochschule Bremen, dem deutschen Unternehmen CSP Technologies GmbH sowie brasilianischen Partnern daran, in Brasilien internationale Forschungs- und experimentelle Entwicklungsprojekte voranzutreiben. Dabei steht die Verbesserung der Nachhaltigkeit in der biobasierten Wirtschaft in Brasilien im Vordergrund. Die Projektpartner konzentrieren sich insbesondere auf die effiziente und nachhaltige Ressourcennutzung, die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Produktion sowie die langfristige CO<sub>2</sub>-Speicherung in biobasierten Werkstoffen.

### Bestandteil der Forschungsinitiative „Eureka“

Das Projekt wird im Rahmen der Forschungsinitiative Eureka durchgeführt, in der über 45 Länder auf der ganzen Welt und die Europäische Kommission zusammengeschlossen sind. „Als Beson-

Berthold, Fachbereichsleiter am Fraunhofer WKI.

### Optimierte Pflanzenfasern dienen als Verstärkungselemente

Der wissenschaftliche Fokus des Projekts liegt in der verbesserten Produktion und Funktionalisierung von Pflanzenfasern, zum Beispiel aus Bambus. Diese optimierten Fasern sollen für die Anwendung als Verstärkungselemente in großflächigen, dünnen zementgebundenen Platten eingesetzt werden. Die Forschenden möchten bislang weitestgehend ungenutzte pflanzliche Reststoffe einer höheren Wertschöpfung zuführen. Diese sollen für die Bewehrung in mineralisch gebundenen Baustoffen genutzt werden und tragen damit dazu bei, die CO<sub>2</sub>-Bilanz zu verbessern.

Für die Forschenden steht bei der Optimierung der Platten unter anderem die Erhöhung der Zähigkeit, Festigkeit und Steifigkeit bzw. der Formbeständigkeit im Fokus. Unterschiedliche Natur-

ständigkeitszyklus der Bauteile erhöht und verlängert werden. Gleichzeitig wollen wir so die Produktionskosten verringern und die Ökobilanz verbessern“, erläutert Dr. Nina Ritter, Gruppenleiterin am Fraunhofer WKI.

Im Projekt soll die Beziehung zu brasilianischen Werk- und Baustoffherstellern auf- und ausgebaut werden. Auf dieser Grundlage sollen konkrete Aufträge für die Konzeptionierung, Fertigung und den Aufbau von kompletten Produktionsanlagen für die deutsche Industrie entstehen. Die brasilianische Seite profitiert vom vorhandenen Know-how der deutschen Anlagenhersteller, das sich wiederum durch die Forschungsergebnisse der beteiligten Wissenschaftspartner aus beiden Ländern vergrößert. In Zukunft sollen die Ergebnisse für die industrielle Produktionsebene hochskaliert werden. Sowohl anorganisch gebundene Faserplatten als auch Spanplatten für die Bau- und Außenanwendung haben in Brasilien sowie in ganz Südamerika und Europa ein enormes Marktpotenzial.

### Projektförderung

Das Projekt wird im Rahmen des Eureka-Programms „Globalstars“ gefördert. Über Globalstars ist die Zusammenarbeit mit jeweils einem Land außerhalb des Eureka-Netzwerks möglich. Ziel der hier zugrundeliegenden Ausschreibung ist die Förderung von internationalen, marktorientierten Forschungs- und experimentellen Entwicklungsprojekten mit Unternehmen aus Brasilien zum Zweck der Entwicklung eines Produkts, eines Verfahrens oder einer Dienstleistung. Das Projekt „N-FRICS“ (mit einer Laufzeit vom 1. März 2023 bis zum 28. Februar 2025) wird gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) über den DLR Projektträger. ■

"Ein Hauptziel der Forschenden im Bereich der Funktionalisierung ist die Faserbeständigkeit in wässriger Umgebung sowie die Erzielung einer optimalen Anbindung zwischen Faser und Matrix."

derheit haben Eureka-Projekte den nachhaltigen Auf- und Ausbau internationaler Beziehungen mit Wissenschafts- und Wirtschaftsfokus zum Ziel. Auch unser gemeinsamer Workshop an der Universität in Sao Paulo im November diente dazu, unsere Kontakte zu unseren brasilianischen Partnern weiter auszubauen. Wir möchten mit diesem Projekt dazu beitragen, das Netzwerk zwischen brasilianischen und deutschen Firmen und Forschungseinrichtungen langfristig zu intensivieren. Inhaltlich verfolgen wir das Ziel, anorganische Werkstoffe für den brasilianischen Bausektor zu entwickeln, die dazu beitragen CO<sub>2</sub> einzusparen“, erläutert Dr. Dirk

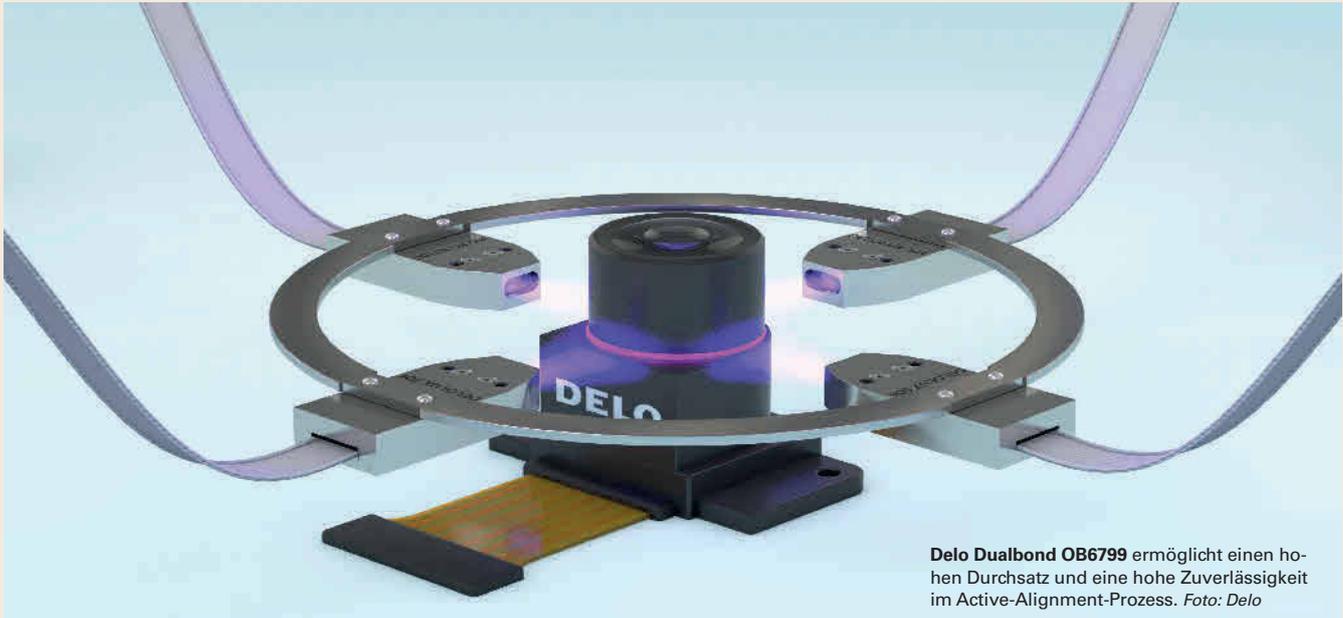
fasern wie Sisal, Bambus und Eukalyptus werden daher verschiedenen Funktionalisierungen in Verbindung mit nanofibrillierter Cellulose unterzogen. Die Funktionalisierungen müssen so erfolgen, dass eine Verwendung der Naturfasern im Zement ermöglicht werden kann.

### Ökobilanz verbessern und Kosten senken

„Durch die Nutzung biobasierter anstatt synthetischer Fasern als Verstärkungselement im Zement wollen wir die mechanischen Eigenschaften erhöhen. Durch diese Werkstoffkombination kann die Dauerbe-

### Kontakt

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



**Delo Dualbond OB6799** ermöglicht einen hohen Durchsatz und eine hohe Zuverlässigkeit im Active-Alignment-Prozess. Foto: Delo

DELO stellt Active-Alignment-Klebstoff für hochauflösende Automobilkameras vor

## ADAS-Kameras präzise verkleben

Mit Delo Dualbond OB6799 bringt Delo einen Klebstoff auf den Markt, der auf die hohen optischen Anforderungen moderner Fahrerassistenzsysteme optimiert wurde.

Damit will der Hersteller nach eigener Aussage neue Maßstäbe hinsichtlich Prozessgeschwindigkeit und Ausrichtungsgenauigkeit von Automobilkameras setzen.

**F**ahrerassistenzsysteme (engl. Advanced Driver Assistance Systems, ADAS) wie Spurhalte- und Notbremsassistenten werden immer leistungsfähiger und erhöhen die Sicherheit von Fahrzeugen stetig. Die essenziellen Sensoren dabei sind LiDAR- und RADAR-Sensoren sowie hochauflösende Kameras.

Für die Montage dieser Komponenten sind besonders hochwertige Werkstoffe notwendig. Ein Produkt, das speziell für das Verkleben und aktive Ausrichten von ADAS-Kameras entwickelt wurde, ist Delo Dualbond OB6799. Der Epoxidharzklebstoff besitzt einen linearen Aushärtungsschrumpf, der reproduzierbar unter einem Prozent liegt. Zusätzlich zeigt das Produkt auch unter wechselnden Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen ein sehr geringes Quellungsverhalten, sodass der Fokus der Kamera optimal eingestellt bleibt und sie ihre Sicherheitsfunktion dauerhaft erfüllen kann.

### Verkleben und Ausrichten von ADAS-Kameras mittels Active Alignment

Da hochauflösende Kameras vorrangig aus Aluminium gefertigt werden, wurde der Wärmeausdehnungskoeffizient (CTE) speziell auf dieses Material angepasst. Anwendungsrelevante Alterungs-

tests (z.B. +85 °C/85 % r. F., 2000 h) bestätigen das hohe Haftungsniveau des Klebstoffs auf Aluminiumsubstraten.

Dualbond OB6799 ist speziell für Active-Alignment-Prozesse optimiert. Bei dem heute in der Automobilindustrie etablierten Prozess zur Herstellung hochpräziser optischer Sensorsysteme wie ADAS-Kameras werden die Bildsensordaten aktiv ausgelesen, um die optimale Ausrichtung von Sensor zu Optik zu bestimmen.

Durch die schnelle Lichtfixierung des Klebstoffs sind die ausgerichteten Komponenten innerhalb weniger Sekunden präzise fixiert und halten ihre Position ab diesem Zeitpunkt zuverlässig. Damit ist der Klebstoff aus dem Hause Delo für Herstellungsprozesse geeignet, die neben einer hohen Ausrichtungsgenauigkeit auch auf hohe Stückzahlen und anspruchsvolle Effizienzanforderungen ausgelegt sind. Die Endaushärtung des Klebstoffs erfolgt mittels Wärme im niedrigen Temperaturbereich bei +80 °C. ■

#### Kontakt

DELO Industrie Klebstoffe GmbH & Co. KGaA  
DELO-Allee 1  
86949 Windach  
[www.delo.de](http://www.delo.de)

Forschende arbeiten an druckbaren Klebstoffen für Gewebe und Knochen

# Vorbild Miesmuschel

Forschende am Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP haben gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB und dem Fraunhofer USA Center for Manufacturing Innovation CMI einen Gewebekleber entwickelt, mit dem sich der frühzeitige Austausch von Prothesen künftig vermeiden lässt.

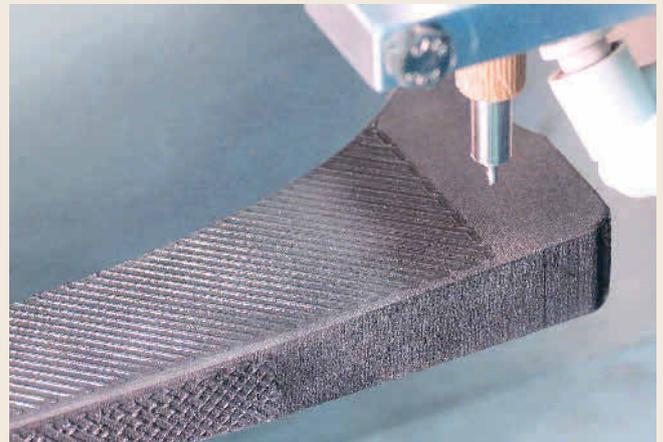
**H**üftimplantate aus Titan halten nicht ewig. Sie lockern sich früher oder später und verlieren ihren Halt im Knochen, da sich dieser mit der Zeit zurückbildet. Dies soll ein neuer Klebstoff verhindern: Auf die Titanoberfläche des Implantats aufgebracht, stellt das biomimetische, antimikrobielle Material die Verbindung zum Knochen her, es haftet selbstständig an.

Als Vorbild dienen Miesmuscheln, die fest an Außen- und Unterseiten von Schiffen haften und dessen Bewuchs sich nur schwer entfernen lässt. Ein Protein, das die Aminosäure Dihydroxyphenylalanin, auch DOPA genannt, enthält, ist verantwortlich für die haftende Wirkung der Muscheln an Oberflächen. Forschende am Fraunhofer IAP im Potsdam Science Park haben in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IGB und dem Fraunhofer USA CMI einen biomimetischen Kleber entwickelt, der diese Eigenschaft nachahmt. Er zeichnet sich durch außergewöhnliche Haftungs- und Bindungseigenschaften aus und hat daher das Potenzial, in verschiedenen biomedizinischen Anwendungen eingesetzt zu werden. So lassen sich etwa offene Wunden damit verschließen. Auch können Titanoberflächen von Implantaten damit beklebt werden, damit der Körper die Oberfläche als knochenähnliche Substanz erkennt und die Verbindung zum Knochen herstellt.

## Klebstoff mit antimikrobiellen Eigenschaften

„DOPA sorgt für eine äußerst effektive Haftung. Diese Eigenschaft haben wir auf unseren Klebstoff übertragen, indem wir Polymere synthetisiert haben, die den Baustein Dopamin enthalten, ein chemisches Analogon von DOPA. Der dopaminbasierte Klebstoff lässt sich mit verschiedenen Additiven, wie Apatit-Partikeln, eine Substanz, aus der Zähne bestehen, Proteinen und Signalmolekülen versetzen. Diese fördern das Wachstum von Knochenzellen und können als Beschichtungsmaterial etwa für Titanimplantate verwendet werden“, erläutert Dr. Wolfdietrich Meyer, Wissenschaftler am Fraunhofer IAP. Die spezielle Beschichtung lässt das Implantat für den Körper natürlicher erscheinen und kann die Heilung und Integration des Implantats im Körper fördern. Der biobasierte, nachhaltig hergestellte Klebstoff besitzt zudem antimikrobielle Eigenschaften.

Die dopaminbasierten Polymere eignen sich nicht nur für Gewebeklebstoffe, sondern auch für die Entwicklung funktionalisierter Oberflächen, antibakterieller Materialien und intelligenter Beschichtungen mit speziellen Funktionen. Durch chemische Synthese kann man die Funktionalität des Klebers erweitern. Er



Der dopaminbasierte Gewebekleber wird von einem Drucker auf einen dreidimensionalen Titanumshaft eines Hüftgelenks aufgebracht. Foto: Fraunhofer CMI

lässt sich derart modifizieren, dass er auf Licht reagiert. Wird er mit UV-Licht bestrahlt, so härtet er aus. Dabei verstärkt sich seine haftende Wirkung. Photoreaktive Materialien lassen sich im 3D-Druck in Gegenwart von UV-Strahlung verarbeiten. Auf diese Weise können komplexe Strukturen für maßgeschneiderte medizinische Implantate aufgebaut werden.

Dem Forscherteam an den Fraunhofer-Instituten IAP und IGB ist es gelungen, den Kleber durch Vernetzung der Polymere druckbar zu machen. "Wir haben quasi das Druckmaterial für den 3D-Druck entwickelt", sagt Meyer. Am Fraunhofer Center for Manufacturing Innovation CMI in Boston, USA, wurde das Material mithilfe eines Bioprinters auf einen dreidimensionalen Titanumshaft eines Hüftgelenks aufgebracht. Künftig arbeiten die Forscherinnen und Forscher an Lösungen, wie man den Kleber schaltbar machen kann. "Hat der Chirurg den medizinischen Klebstoff beispielsweise geringfügig falsch platziert, muss er diesen Fehler schnell korrigieren und die klebende Wirkung deaktivieren können", erklärt der Chemiker. ■

## Kontakt

Fraunhofer IAP  
Geiselbergstraße 69  
14476 Potsdam-Golm  
[www.iap.fraunhofer.de](http://www.iap.fraunhofer.de)

Fortschritte mit faserverstärktem Polyamid für Pulverbettverfahren

# Top-Werkstoff für den industriellen 3D-Druck

Für den industriellen 3D-Druck werden Kunststoffmaterialien benötigt, welche als gedruckte Bauteile dem Leistungsniveau von spritzgegossenen Bauteilen entsprechen. Dies ist der Schlüssel, um ohne großen Qualifizierungsaufwand und Konstruktionsanpassungen für Sonderbauteile oder im Ersatzteilmarkt Anwendung zu finden. Zu den Standardwerkstoffen der Kunststoffindustrie gehören aber vorrangig PP GF10, PP GF30 oder PA6 GF30, also faserverstärkte Materialien.

**P**ulverbettverfahren wie das Lasersintern bieten fast unbegrenzte geometrische Freiheit beim Druck von Bauteilen. Was auch erforderlich ist, denn die originär für das Spritzgießen konstruierten Bauteile haben komplexe Geometrien. Nur leider sind verstärkte Polymere in Pulverform ein Widerspruch in sich. Man behilft sich mit trocken in Kunststoffpulvern eingemischten Fasern. Ungebundene sehr dünne Fasern oder mineralische mikroskopisch-dünne Nadeln sind aber aus Arbeitsschutzsicht riskant im Umgang und erhalten aus diesem Grund keine interne Freigabe bei industriellen 3D-Druck-Verarbeitern. Es hilft nichts: Die Fasern müssen in den Partikel.



Lasergesinterte Bauteile aus Luvosint PA613 9711 CF. Foto: Lehvoss Group

## Temperatur- und Presstab

Lehvoss hat nun in Kooperation mit der Evonik ein PA613 mit eincompoundierter Carbonfaserverstärkung entwickelt. Das Basispolymer PA613 wurde von der Evonik speziell für das Lasersintern entworfen. Als solches zeichnet es sich durch eine geringe Feuchteaufnahme, hohe Temperaturstabilität und, anders als PA6, durch hohe Prozessstabilität im Lasersintern aus. Die Faserverstärkung besteht aus hochfesten XCF-Fasern, die bislang in LUVOCOMXCF-Produkten für das Spritzgießen eingesetzt werden. Bei der Pulverherstellung wurden partikeltech-

nisch neue Wege gegangen, um die Faserlängen im einzelnen Partikel bestmöglich zu erhalten.

Das Drucken des LUVOSINT PA613 9711 CF erfordert 195 °C Bauraumtemperatur, wodurch sich Standard-Lasersintermaschinen für die Verarbeitung eignen. Das Material absorbiert die Wellenlängen von CO<sub>2</sub>-, Dioden- oder Faserlasern. „Die Tatsache, dass bei ersten Automotive-OEMs bereits eine Qualifizierung für die Ersatzteilerfertigung erfolgt ist, zeigt, dass wir auf einem guten Weg sind. Dennoch braucht es im Lasersintern noch einiges an Innovationswillen für die Entwicklung

von noch weiteren industrierelevanten Werkstoffen, samt hierfür optimierter Maschinen, um den industriellen 3D-Druck in die „Serie“ zu bringen!“ sagt Dr. Marcus Rechberger, Produktmanager für LUVOSINT bei der Lehvoss Group. ■

## Kontakt

Lehmann&Voss&Co. KG  
Schimmelmannstrasse 103  
22043 Hamburg  
[www.levoss.de](http://www.levoss.de)

## Neue Betriebsstätte für Luftfahrtforschung

# Fliegen mit Strom und Gas

Mehrere Fraunhofer-Institute und die Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg arbeiten unter Federführung von Rolls-Royce Deutschland und weiteren Partnern wie der Forschungseinrichtung Access an der Zukunft des hybridelektrischen Fliegens. Gefördert durch das Land Brandenburg sowie das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz forschen die Partner an einem völlig neuen Antriebssystem für Mittelstreckenflugzeuge bis 35 Passagiere.

Beim hybridelektrischen Fliegen erzeugt eine Gasturbine elektrische Energie, mit der ein Zwischenbatteriespeicher geladen wird. Für den Antrieb bezieht das Flugzeug seine elektrische Energie aus diesem Speicher. Foto: Rolls-Royce Deutschland

Die Clean-Sky-Programme der Europäischen Union und darin enthaltene Clean Aviation-Perspektiven sind eine wichtige Richtschnur für die Branche, die durch den Luftverkehr verursachten Stickoxid- und Lärmemissionen deutlich zu reduzieren. Eine vielversprechende Technik dafür ist das hybridelektrische Fliegen: Eine Gasturbine erzeugt elektrische Energie, mit der ein Zwischenbatteriespeicher geladen wird; für den Antrieb bezieht das Flugzeug seine elektrische Energie aus diesem Speicher. Größere sowie langsamer drehende Rotoren erzeugen weniger Lärm am Boden und verursachen einen deutlich kleineren Lärmteppich als Flugzeuge mit konventionellem Antrieb. Der modulare Aufbau des vorgeschlagenen Konzepts ermöglicht darüber hinaus, zukünftig auch alternative Treibstoffe oder völlig neue Stromquellen einzusetzen.

Bis Mitte 2026 wollen die Partner Fertigungstechniken für die Herstellung hybridelektrischer Antriebskomponenten entwickeln, vorhandene Techniken qualifizieren und prototypische Komponenten herstellen. Dabei liegt der Fokus auf einer beschleunigten Entwicklung und Bereitstellung von Prototypen. In einem von hoher Wettbewerbsintensität geprägten Sektor sollen die Entwicklungszeiten erheblich verkürzt werden. Beispielhaft dafür steht das Vorhaben, die Durchlaufzeiten vom fertigen Design eines Funktionsprototypen bis zur Übergabe an den Auftraggeber von derzeit mehreren Monaten auf wenige Wochen zu verkürzen. In weiteren Projekten entstehen hochflexible Produktionskonzepte, ohne die eine effiziente Serienfertigung nicht möglich wäre. Für Cottbus und die Lausitz eröffnen diese Projekte die Perspektive attraktiver Arbeitsplätze von der Entwicklung modernster Antriebssysteme (nicht nur in der Luftfahrt) bis zur industriellen Produktion.

Jedes der beteiligten Fraunhofer-Institute bringt seine spezifischen Kompetenzen ein, um dem Flugzeugbauer Lösungen für

eine spätere Serienentwicklung verfügbar zu machen. Zahlreiche geplante Produktionstechniken wie additive Fertigung (3D-Druck) und Umformung wurden bisher noch nicht im Flugzeugbau angewandt; sie für diese Branche mit ihren besonders strengen Anforderungen an Qualität, Zuverlässigkeit und Haltbarkeit zu qualifizieren ist eine Herausforderung, der sich die Institute nun stellen. Die hohe Interdisziplinarität der Forschungsvorhaben erfordert, die Kompetenzen mehrerer Institute zu nutzen und technische Fragestellungen synergetisch zu diskutieren. Eine der wichtigsten Komponenten, an deren Entwicklung mehrere Institute beteiligt sind, ist die Brennkammer der Gasturbine. ■

## Die Projektpartner:

- Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
- Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS
- Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM
- Access e.V.
- Center for Hybrid Electric Systems (chesco) der TU Cottbus-Senftenberg (BTU)
- Rolls-Royce Deutschland

## Kontakt

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU  
09126 Chemnitz  
[www.iwu.fraunhofer.de](http://www.iwu.fraunhofer.de)

VDI-Fachkonferenz in Leinfelden-Echterdingen

# Der Digitale Zwilling in der industriellen Wertschöpfung

Am 23. und 24. Oktober 2023 fand die vom VDI Wissensforum veranstaltete 2. VDI-Fachkonferenz zum Thema „Der Digitale Zwilling in der industriellen Wertschöpfung“ in Leinfelden-Echterdingen bei Stuttgart unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark statt. Die zunehmende Relevanz von Digitalen Zwillingen in Unternehmen spiegelt sich in großem Interesse an dem Thema wider, jedoch stellt ihre effektive Umsetzung eine Herausforderung dar. Die Fachkonferenz adressierte Schlüsselfragen wie: „Was kennzeichnet einen Digitalen Zwilling?“, „Wie lassen sich die Wertschöpfungspotentiale von Digitalen Zwillingen ausschöpfen?“, „Welche Rolle spielen Standards wie die Verwaltungsschale?“ und auch „Wie sieht eine Zukunft mit dem Metaverse aus?“

TEXT: Svenja Nicole Schulte, Rainer Stark

**D**as Thema Digitale Zwillinge ist aktuell in vielen Unternehmen präsent. Allerdings herrscht zum Teil noch kein einheitliches Verständnis von Digitalen Zwillingen. Digitale Zwillinge von Produkten oder Prozessen bestehen aus der Verknüpfung von digitalen Modellen mit Daten. Entlang des Produktlebenszyklus können sie verschiedene Formen annehmen: Über den Verlauf des Produktlebenszyklus entstehen immer mehr Daten, die in den Digitalen Zwilling einfließen können und für verschiedenste Anwendungsfälle genutzt werden können. Beispielsweise können über die Integration von Daten verschiedener Partner, aus verschiedenen Produktlebenszyklusphasen oder über mehrere Fabriken hinweg komplexe Analysen durchgeführt werden und Funktionen wie Feedback to design, Predictive Maintenance, Virtuelle Inbetriebnahme oder auch autonome Optimierung unterstützt werden.

Basierend auf Digitalen Zwillingen können somit neue Geschäftsmodelle umgesetzt beziehungsweise unterstützt werden. Entscheidend ist dabei, welche Rolle der Digitale Zwilling im Rahmen seines Umfelds spielt: Digitale Zwillinge können

eigenständig Funktionen erfüllen, sie können aber auch Teil einer Anlage oder Dienstleistung sein sowie in eine Plattform oder ein Ökosystem integriert werden. Oft basieren die Geschäftsmodelle nicht nur auf dem Teilen von Daten, sondern auf deren Austausch mit externen Partnern.

## Digitale Zwillinge bergen Potentiale und Risiken

Datenaustausch mithilfe von Digitalen Zwillingen birgt neben einigen Potentialen auch Herausforderungen und Risiken. Beispielsweise stellen Heterogenität oder Inkonsistenz von Daten, schlechte Datenqualität sowie keine einheitliche oder erfasste Semantik von Daten Herausforderungen bei der Implementierung von Digitalen Zwillingen dar. Auch Risiken im Zusammenhang mit der Datensicherheit ist ein zentrales Thema aktueller Diskussionen. Im Umgang mit diesen Herausforderungen spielt Data Governance eine entscheidende Rolle. Standardisierungsansätze wie die Verwaltungsschale können die Kompatibilität von Daten unterstützen. Erst wenn aus Daten Informationen abgeleitet werden können, kann der Wert der im Digi-

talen Zwilling enthaltenen Daten erschlossen werden.

Bei der Betrachtung des Wertes von Digitalen Zwillingen sind die Kosten im Zusammenhang mit ihrer Implementierung nicht zu vernachlässigen. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis von Digitalen Zwillingen sollte optimiert werden, indem eine geeignete Skalierung des Digitalen Zwillings in Abhängigkeit des definierten Anwendungsfalls gewählt wird. Darüber hinaus hängt der Nutzen von Digitalen Zwillingen von Faktoren wie der Güte der Daten und Modellen sowie deren Kompatibilität miteinander ab. Auch der Mensch darf bei solchen Überlegungen nicht vergessen werden, die Akzeptanz der Nutzerinnen und Nutzer solcher Technologien ist entscheidend.

## Industrial Metaverse erweitert Digitalen Zwilling

In Zukunft können Digitale Zwillinge zusammen mit anderen Technologien wie Virtual Reality, Augmented Reality, Künstliche Intelligenz und Internet of Things eine immer entscheidendere Rolle spielen. Diese technischen Entwicklungen verändern die Art und Weise, wie die reale und virtuelle Welt miteinander verbun-

den sind. Aufbauend auf der Integration dieser Technologien miteinander eröffnet sich das Konzept des Industrial Metaverse. Das Industrial Metaverse ist eine Erweiterung des Digitalen Zwillings und integriert ihn in eine noch komplexere, miteinander verbundene virtuelle Realität. Die Vision des Industrial Metaverse strebt danach, nicht nur isolierte Darstellungen von Produkten oder Prozessen zu schaffen, sondern ein umfassendes Netzwerk von miteinander verbundenen, intelligenten Entitäten zu etablieren, das neue Möglichkeiten für Zusammenarbeit, Innovation und Geschäftsmodelle bietet. Diese Entwicklung verspricht eine breitere Anwendung von Digitalen Zwillingen in einem gemeinsamen digitalen Ökosystem, das über Unternehmensgrenzen hinausgeht.

Am Abend des ersten Konferenztages hatten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Fachkonferenz die Möglichkeit im Rahmen von World Cafés aktuelle Fragestellungen rund um Digitale Zwillinge zu diskutieren:

1. Welche Art der Standardisierung von Digitalen Zwillingen wird benötigt? Ist der Ansatz der Verwaltungsschale wirklich ausreichend oder erst der Beginn?
2. Welche Auswirkungen haben Digitale Zwillinge auf Produkte, Wertschöpfungsleistungen und Dienstleistungen? Welche neuen Fähigkeiten können sich Unternehmen mithilfe und bei Vorhandensein von Digitalen Zwillingen erschließen?
3. Wie sieht die Zukunft mit dem Industrial Metaverse aus? Inwiefern können Digitale Zwillinge dazu befähigen?

Im Anschluss an die beiden Konferenztage organisierte das Fachgebiet Industrielle Informationstechnik (IIT) der Technischen Universität Berlin einen Spezialtag zum Thema „Die Entwicklung eines Digitalen Zwillings, von der Theorie in die Praxis“. Während dieser Veranstaltung erhielten die Teilnehmenden Einblicke in den Prozess der Entwicklung von Digitalen Zwillingen. Es wurden die Schritte dieses Prozesses beleuchtet und Methoden zur Unterstützung bei den anfallenden Aufgaben aufgewiesen. Zudem wurden die Chancen als auch Probleme und Risiken, die mit Digitalen Zwillingen verbunden sind, unter Berücksichtigung der eigenen Erfahrungen der Teilnehmenden diskutiert. Basierend auf den gewonnenen Er-



Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark leitete die 2. VDI-Fachkonferenz „Der Digitale Zwilling in der industriellen Wertschöpfung“ in Leinfelden-Echterdingen. Foto: VDI-Wissensforum

kenntnissen wurden in Kleingruppen eigene Digitale-Zwillings-Konzepte erarbeitet. Darüber hinaus lernten die Teilnehmenden mithilfe einer Live-Schleife an das Fachgebiet IIT einen Digitalen-Zwillings-Demonstrator einer Kofferraumklappe kennen und erhielten weitere Einblicke in das Konzept und die Nutzenpotentiale der Verwaltungsschale anhand des Demonstrators.

Aktuell befindet sich die 3. Fachkonferenz, welche am 5. und 6. November 2024 in Nürtingen (bei Stuttgart) stattfinden wird, in der Vorbereitung. Dort wird es die Möglichkeit geben Einblicke in die Weiterentwicklung des Wissens und der Erfahrungen rund um das Thema Digitale Zwillinge zu erhalten und im Rahmen des Netzwerkes zu diskutieren.

Wenn Sie dabei sein wollen, können Sie sich unter [www.vdi-wissensforum.de](http://www.vdi-wissensforum.de) anmelden. ■

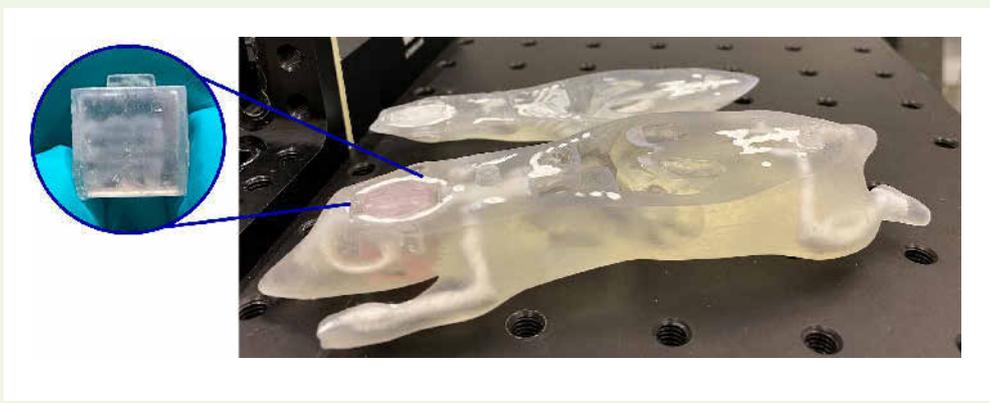
#### Kontakt

M. Sc. **Svenja Nicole Schulte** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin,

Prof. Dr.-Ing. **Rainer Stark** ist Fachgebietsleiter, beide Fachgebiet Industrielle Informationstechnik, Technische Universität Berlin 10587 Berlin  
[svenja.schulte@tu-berlin.de](mailto:svenja.schulte@tu-berlin.de)  
[www.tu.berlin/iit](http://www.tu.berlin/iit)

# 3D-Gedruckte medizinische Phantome

Aktuelle Fortschritte, Herausforderungen und Anwendung in der präklinischen Forschung



**Bild 1:** 3D-gedrucktes Maus-Phantom mit integrierter Tumorprobe (3D Zellprint). Foto: Autoren

Die Herstellung von physischen medizinischen Modellen wurde durch die Additive Fertigung in den letzten Jahren stark vorangetrieben. Unter anderem bietet der 3D-Druck mittlerweile die Möglichkeit, medizinische Phantome mit komplizierten anatomischen Strukturen zu fertigen. Phantome sind physische Modelle, die biologisches Gewebe und dessen Eigenschaften in der medizinischen Bildgebung nachahmen und eine entscheidende Rolle in Qualitätssicherung, Ausbildung, Forschung und Schulung spielen. Mit dem Einsatz von 3D-Druck hat sich die Herstellung von medizinischen Phantomen grundlegend verändert, indem sie traditionelle, oft zeitaufwändige und teure Methoden durch die Vorteile dieser innovativen Technologie ergänzt. Einer der Hauptvorteile des 3D-Drucks bei der Entwicklung medizinischer Phantome liegt in seiner Fähigkeit, patientenspezifische Modelle zu erstellen. Durch die Verwendung dreidimensionaler Patientendaten aus medizinischer Bildgebung wie CT- oder MRT-Scans können maßgeschneiderte Phantome erstellt werden, die die einzigartige Anatomie und Pathologie individueller Patienten berücksichtigen.

Dies spielt eine entscheidende Rolle in der personalisierten Medizin und der Behandlungsplanung. Der Prozess zur Entwicklung eines 3D-gedruckten Phantoms umfasst die Umwandlung von Bildgebungsdaten in ein digitales 3D-Modell mithilfe fortschrittlicher Algorithmen und die Auswahl geeigneter 3D-Druckmaterialien, die den Gewbeeigenschaften entsprechen. Im Bereich der 3D-gedruckten Phantome gibt es verschiedene Typen, die spezifischen klinischen Anforderungen und Forschungsbedürfnissen gerecht werden. Einige Phantome konzentrieren sich auf die Nachbildung bestimmter Organe oder anatomischer Strukturen, während andere auf die Qualitätssicherung abzielen. Neben Patientenabbildungen können Phantome auch in der präklinischen Forschung eingesetzt werden, um Tierversuche zu vermeiden oder zu reduzieren. Im Rahmen des von der Hamburger Landesforschungsförderung (LFF) geförderten Graduiertenkollegs „Innovative Technologien in der Krebsdiagnostik und -therapie“ forscht das Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik (PKT) der Technischen Univer-

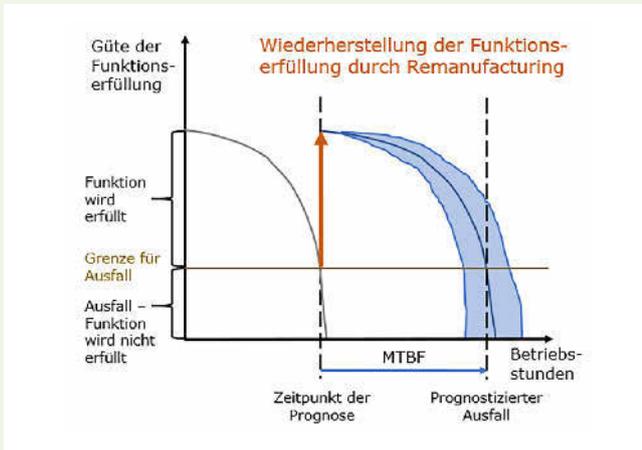
sität Hamburg (TUHH) zusammen mit der Klinik für Strahlentherapie und Radioonkologie des Universitätsklinikum Hamburg Eppendorf (UKE) an der Entwicklung von Kleintierphantomen. Diese sollen über die Integration von Tumorproben zur Analyse von präklinischen Bestrahlungen genutzt werden. Zu sehen ist das entstandene 3D-gedruckte Maus-Phantom in Bild 1. Dabei sorgen unterschiedliche Materialien dafür, die Eigenschaften für Knochen, Organe und Umgebungsgewebe abzubilden. Ein dreidimensionaler gitterförmiger Zellprint, der mit einem Bioprinter gedruckt wurde, kann zusammen mit einem Medium in eine biokompatible 3D-gedruckte Box zusätzlich in das Phantom integriert werden. Des Weiteren können Dosismessmittel im Phantom platziert werden, wodurch neben der computer-tomographischen Bildgebung, strahlentherapeutische Behandlungen evaluiert werden können. Beispielsweise wird das Phantom mit integrierten Tumorproben dann in der präklinischen Kleintierbestrahlungsanlagen genutzt, um neue Therapien einer kompletten Wirbelsäulenbestrahlung zu planen und zu analysieren.

Aber auch hochenergetische Bestrahlungsformen, die noch nicht in der Klinik eingesetzt werden, können so untersucht werden. Die Ergebnisse liefern somit langfristig einen Erkenntnisgewinn bezüglich der Diagnostik und des Therapieverlaufs von unterschiedlichen Tumorerkrankungen. Trotz der zahlreichen Möglichkeiten die 3D-gedruckte medizinische Phantome bieten, stehen noch einige Herausforderungen bevor. Standardisierungs- und Validierungsverfahren sind von entscheidender Bedeutung, um die Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit dieser Phantome über verschiedene Bildgebungssysteme und Institutionen hinweg sicherzustellen. Es müssen robuste Qualitätssicherungsprotokolle entwickelt und Vergleichsstudien zwischen 3D-gedruckten und traditionell hergestellten Phantomen durchgeführt werden, um deren Genauigkeit und Leistung zu validieren. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Entwicklung des 3D-Drucks für medizinische Phantome einen entscheidenden Fortschritt auf dem Gebiet der medizinischen Bildgebung darstellt. Die Möglichkeit, anatomisch realistische, kostengünstige, modulare und anpassbare Phantome unter Verwendung patientenspezifischer Daten zu erstellen, birgt ein immenses Potenzial zur Verbesserung der medizinischen Forschung.

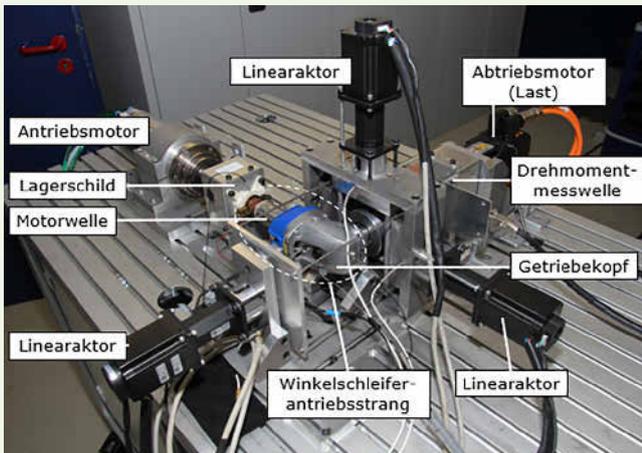
Prof. Dr.-Ing. **Dieter Krause Marie Wegner**, M.Sc.  
Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik (PKT)  
Technische Universität Hamburg (TUHH)

# Nachhaltige Kreislaufwirtschaft durch Zuverlässigkeitsprognosen

Prognose der Zuverlässigkeit ermöglicht Entscheidungsgrundlage für die Aufarbeitung von Produkten



**Bild 1:** Zuverlässigkeitsprognose für nächste Nutzungsdauer. Eine zentrale Kennzahl ist der Erwartungswert der mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen (MTBF). *Grafik: Autoren*



**Bild 2:** Prüfstand zur Datenerhebung auf Teilsystemebene [1]. *Foto: Autoren*

Die Aufarbeitung von Produkten und deren Teilsystemen im Remanufacturing gewinnt angesichts der Bedeutung von langfristiger Ressourcennutzung für die Wertschöpfung in Hochtechnologiestandorten zunehmend an Bedeutung. Ein wesentlicher Aspekt ist dabei die Entscheidung, wie Produkte aufgearbeitet werden können, um ihre Funktionen in der erforderlichen Güte in der nächsten Nutzungsphase erfüllen zu können. Dies beinhaltet beispielsweise die Frage, welche

Teilsysteme ausgetauscht oder aufgearbeitet werden müssen. Dazu ist eine Prognose der Zuverlässigkeit auf Teilsystem- und Systemebene erforderlich.

## Güte der Funktionserfüllung zentral für Zuverlässigkeit

Die Zuverlässigkeit eines Systems ist definiert als seine Fähigkeit, eine geforderte Funktion unter bestimmten Bedingungen und über einen bestimmten Zeitraum zu erfüllen. Von zentraler Bedeutung

ist dabei, dass sich die Zuverlässigkeit nicht nur auf strukturelle Ausfälle beschränkt, sondern insbesondere auf die Güte der Funktionserfüllung abzielt. Diese ist beispielsweise auch bei zu starken Vibrationen nicht mehr gegeben, obwohl das Produkt prinzipiell noch funktioniert. Dabei müssen unterschiedliche Nutzergruppen und Anwendungsfälle mit ihren spezifischen Produktanforderungen berücksichtigt werden.

## Zuverlässigkeitsmodelle für fundierte Entscheidungen

Um Zuverlässigkeitsmodelle als Grundlage für Entscheidungen zur Aufarbeitung nutzen zu können, müssen sie mit relevanten Daten parametrisiert werden. Die Daten können aus unterschiedlichen Quellen, wie Datenloggern, Digital Twins, Prüfstandsversuchen oder Analysen von Gebrauchsgüterprodukten stammen. Die Erfassung und Verarbeitung von Daten auf Komponenten- und Teilsystemebene stellt eine Herausforderung dar. Ein Ansatz zur Lösung dieser Herausforderung ist die Datenerfassung an X-in-the-Loop-Prüfständen [1, 2]. Auch die Integration virtueller und physikalischer Sensoren, beispielsweise als Teil sensorintegrierter Maschinenelemente [3], kann dabei unterstützen, relevante Größen für die Zuverlässigkeitsprognose auch in schwer untersuchbaren Teilsystemen erfassen zu können.

## Berücksichtig von Unsicherheiten

Die Einzigartigkeit von aus dem Feld zurückkehrenden Produkten und der daraus

resultierenden Daten beeinflussen die Zuverlässigkeitsprognose erheblich. Eine umfassende Verarbeitung der entstehenden Unsicherheiten und ihre Integration in die Zuverlässigkeitsmodelle sind entscheidend. Durch die Integration von Unsicherheiten und die Parametrisierung mit unterschiedlichen Daten, unter anderem aus sensorintegrierten Maschinenelementen und Daten aus X-in-the-Loop-Prüfständen, schaffen diese Modelle eine praxisrelevante Basis für die Weiterentwicklung im Bereich der Zuverlässigkeitsprognose auf Teil- und Systemebene.

## Literatur

- [1] Matthiesen, S.; Gwosch, T.; Mangold, S.; Dültgen, P.; Pelschenke, C.; Gittel, H.-J., Realitätsnahe Komponententests zur Unterstützung der Produktentwicklung bei der Validierung von Power-Tools, 2017. Konstruktion, 69 (7–8), 76–81. DOI: 10.1007/s10010-016-0203-z
- [2] Steck, M.; Gwosch, T.; Matthiesen, S., Scaling of Rotational Quantities for Simultaneous Testing of Powertrain Subsystems with Different Scaling on a X-in-the-Loop Test Bench, 2021. Mechatronics, 71 (4). DOI: 10.1016/j.mechatronics.2020.102425.
- [3] Peters, J.; Ott, L.; Dörr, M.; Gwosch, T.; Matthiesen, S., Sensor-integrating gears: wear detection by in-situ MEMS acceleration sensors, 2022. Forschung im Ingenieurwesen, 86 (3), S. 421–432. DOI: 10.1007/s10010-021-00575-7.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. **Sven Matthiesen**  
**Matthias Dörr**, M.Sc.  
 Dr.-Ing. **Patric Grauberger**  
 IPEK – Institut für Produktentwicklung  
 Lehrstuhl für Gerätekonstruktion und Maschinenelemente  
 KIT – Karlsruher Institut für Technologie

# Bestimmung der optimalen Zahnform und Ermittlung der damit übertragbaren Drehmomente und Torsionssteifigkeiten eines hochuntersetzenden Schubkurbelgetriebes

P. Eisele, G. Brunbauer, L. Dietrich, F. Haas

**INHALT** Für die Kraftübertragung in Getrieben ist das Zahnprofil der beteiligten Zahnflanken und deren räumliche Anordnung maßgeblich. Im Falle der rotatorischen Leistungsübertragung ist das Zahnrad mit Evolventen Verzahnung aufgrund der geometrischen Eigenschaften die vorherrschende Profilform. Wird für die Übertragung jedoch eine abweichende kinematische Verkettung der Übertragungselemente verwendet, ist die Berechnung einer neuen Profilkurve notwendig. Dieser Aufsatz zeigt dieses Vorgehen anhand eines neuartigen Schubkurbelgetriebes. Die daraus resultierenden Eigenschaften des Getriebes in Bezug auf Drehmoment und Torsionssteifigkeiten bieten neue Möglichkeiten für hochbelastete Anwendungen.

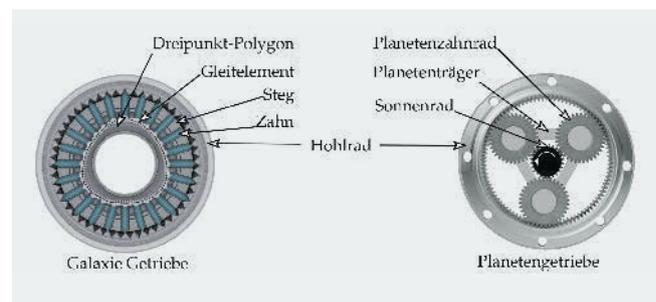
## Determination of the optimum tooth profile and determination of the resulting torques and torsional rigidity of a high reduction slider-crank gearbox

**ABSTRACT** The tooth profile of the tooth flanks involved, and their arrangement are decisive for power transmission in gears. In the case of rotary power transmission, the gear with involute toothing is the predominant profile shape due to the geometric properties. However, if a different kinematic linkage of the transmission elements is used for the transmission, the calculation of a new profile curve is necessary. This paper shows this procedure based on a new type of shear crank gear. The resulting properties of the transmission in terms of torque and torsional stiffness offer new possibilities for highly loaded applications.

## 1 Motivation und Stand der Technik

Um Kräfte und Bewegungen zu übertragen, zu wandeln, umzuformen oder zu führen, werden in Antriebssystemen Getriebe eingesetzt. Diese bestehen aus beweglich miteinander verbundenen Körpern. Deren gegenseitige Bewegungsmöglichkeiten werden durch die Art der Verbindung bestimmt. Einer der Körper ist stets ortsfest und die Mindestanzahl der Körper und Gelenke beträgt mindestens drei [1].

Bei koaxialen Anordnungen von An- und Abtrieb ermöglichen verschiedene Getriebekonzepte hohe Untersetzungen. Ein Planetengetriebe nutzt drehbar gelagerte Zahnräder mit einem Evolventenzahnprofil, bei dem der Eingriffswinkel gemäß DIN 867 konstant  $20^\circ$  beträgt, was einen gleichförmigen Abtrieb gewährleistet [2]. Das Galaxie Getriebe von Wittenstein (s. **Bild 1**) verwendet als Zahnprofil die logarithmische Spirale (Abk.: log. Spi.). Es hat einen Dreipunkt-Polygon-Antrieb, der Einzel-Zähne mit log. Spi.-Profil in ein Hohlräder mit entsprechender Innenverzahnung schiebt. Durch das Profil ist der Zahneingriff flächig, wobei stets mindestens 25 % der Zähne im Eingriff sind, was eine hohe Verdrehsteifigkeit ermöglicht [3]. Nach Erreichen der Totpunktstellung, bei der die Mittelachse von Zahn und Gegenzahn zusammenfallen, wird der Rückhub durch den nachfolgenden Zahneingriff erzwungen.



**Bild 1.** Links: Aufbau Galaxie Getriebe (Quelle: Wittenstein galaxie GmbH – leicht modifiziert) und rechts: Planetengetriebe. Grafik: eigene Darstellung

Bei Planetengetrieben ist die Anzahl der beteiligten Zahnpaare begrenzt und die Untersetzung durch das Zähnezahnrhältnis von Planetenzahnrad und Sonnenrad beschrieben. Um höhere Untersetzungen zu realisieren, ist eine Hintereinanderschaltung von mehreren Getriebestufen notwendig. Dies erfordert einen vergrößerten Bau- raum, erhöht das Umkehrspiel und senkt die Gesamtsystemsteifigkeit. Auch das Galaxie Getriebe nutzt diese Lösung, um die fixe Untersetzung von  $i = -24$  weiter zu untersetzen.

Im Vergleich dazu nutzt das im Folgenden dargestellte neuartige Kurbelwellengetriebe für den Antrieb eine Kurbelwelle und

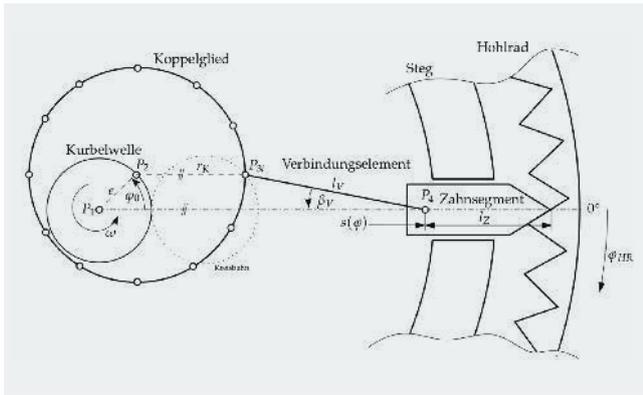


Bild 2. Aufbau Kinematik. Grafik: eigene Darstellung

eine formschlüssige Verbindung der Zähne. Damit lässt sich eine Steigerung der Untersetzung um den Faktor drei im Vergleich zum Galaxie Getriebe bei gleichbleibender Zähnezahle erreichen und der Rückhub wird durch die Kurbelwellendrehung eingeleitet. Damit können die Vorteile der hohen Drehsteifigkeit und Präzision auch für hohe Untersetzungen genutzt werden.

## 2 Beschreibung des Systems

Die 2019 zum Patent angemeldete Getriebegattung „Kurbelgetriebe“ basiert auf dem Prinzip der Schubkurbel [4]. Dieses, seit den Römern zur Wandlung einer Drehbewegung in eine Hubbewegung bekannte Prinzip, wurde bereits im 3. Jahrhundert für den Betrieb von Sägemühlen genutzt. Die Drehbewegung des Wasserrades wurde mittels eines radial auf einem exzentrisch angeordneten Zapfen am Rad gelagerten Glieds in eine lineare Bewegung des Sägeblatts umgewandelt. [5].

Dieses Prinzip wird in der Erfindung von Micheltisch und Eisele für die Wandlung der Antriebsleistung der Kurbelwelle genutzt. Wie in Bild 2 dargestellt, ist das Zahnsegment über ein Verbindungselement mit der Kurbelwelle verbunden. Um zusätzliche Zahnsegmente in der selben Ebene anordnen zu können wurde in einer weiteren Patentanmeldung die Anbindung der Verbindungselemente über ein zentrales Koppelglied vorgesehen [6]. Um gegen ein Ver-

kippen um die Exzenterachse zu sperren, ist der Verbindungspunkt P<sub>2</sub> des Verbindungselements mit dem Koppelglied P<sub>3</sub> entlang einer fest mit dem Steg verbundenen Kreisbahn mit dem Radius e geführt. Somit sind die Strecken P<sub>1</sub>P<sub>4</sub>||P<sub>2</sub>P<sub>3</sub> stets parallel zueinander ausgerichtet. Dies ermöglicht es, mehrere Verbindungselemente und Zähne über den Umfang verteilt an die Hubbewegung der Kurbelwelle anzubinden und so die Gesamtsystemsteifigkeit, das übertragbare Drehmoment, sowie die Übertragungsgenauigkeit zu steigern und das Umkehrspiel zu reduzieren.

Die Position P<sub>4</sub> des Zahnsegments kann mit

$$s(\varphi_0) = e \cdot \cos(\varphi_0) + l_v \cdot \cos(\beta_v) + r_K \quad (1)$$

bestimmt werden. Wobei  $\beta_v$  durch

$$\beta_v = \arcsin\left(\frac{e}{l_v} \cdot \sin(\varphi_0)\right) \quad (2)$$

definiert ist.

Die Zähne sind im Steg radial geführt. Sie greifen nacheinander in ein koaxial zur Antriebsachse drehbar gelagertes Hohlrad mit Innenverzahnung ein und sorgen so für eine Untersetzung der Antriebsdrehzahl. Für einen durchgängigen Eingriff sind mindestens drei Zahnsegmente, um je 120° versetzt, notwendig. Um einen höheren Überdeckungsgrad sowie eine bessere Tragfähigkeit und Steifigkeit zu erzielen, kann diese Anzahl erhöht werden.

Der Aufbau und das in Bild 3 dargestellte zugehörige Kinematikschema (b) verdeutlichen die Ähnlichkeit zu bestehenden Planetengetrieben.

Das Untersetzungsverhältnis entspricht dabei der Zähnezahl des Hohlrades im Falle eines fixierten Steges.

$$i_H = z_{HR} \quad (3)$$

Wird das Hohlrad fixiert, erfolgt der Abtrieb über den Steg mit einer Drehrichtungsumkehr. Das Verhältnis ergibt sich aus der Willis-Gleichung [7].

$$i_S = -(z_{HR} - 1) \quad (4)$$

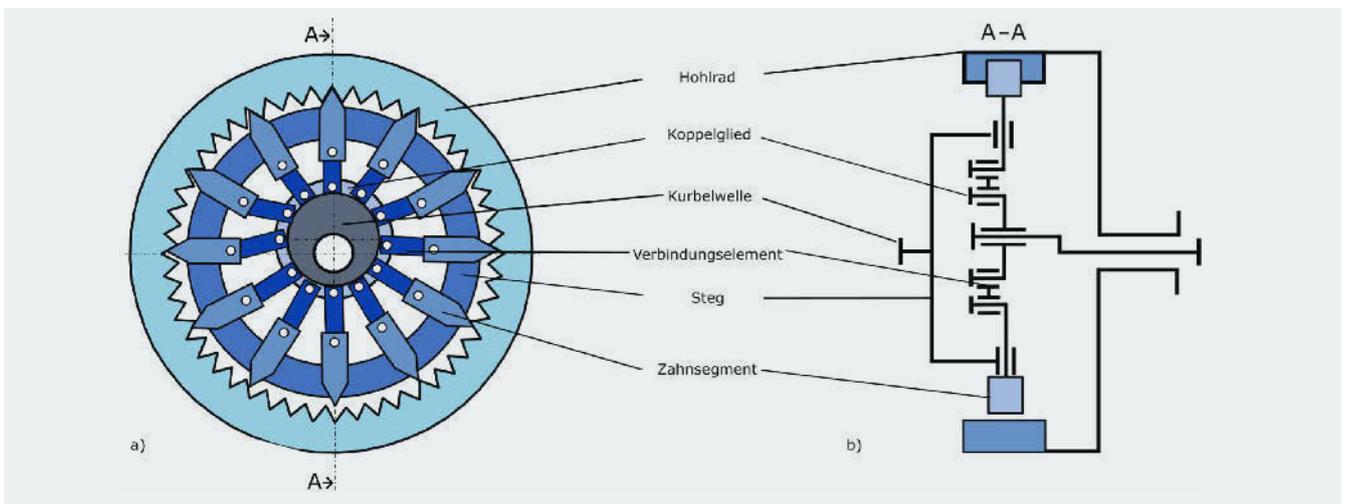


Bild 3. a) Stirnschnitt b) Kinematikschema. Grafik: eigene Darstellung

### 3 Zahnform

Dieses Kinematikschemata führt zu einer Änderung des Eingriffswinkels während des Zahneingriffes. Daher sind die anfangs vorgestellten Zahnformen Evolvente und log.-Spi. nicht geeignet, um einen gleichförmigen Abtrieb zu erzeugen. Als Ausgang wird eine Funktion zweiten Grades verwendet:

$$y_3(x_3) = -a_1 x_3^2 + a_2 x_3 + a_3 \tag{5}$$

Hierbei werden die Randbedingungen für die Ermittlung der Konstanten so gewählt, dass ein geeigneter Zahnkontakt möglich ist, kein Wendepunkt in dem Abschnitt des Zahneingriffes auftritt und die Spannungen innerhalb der Materialgrenzen bleiben. Da sich aufgrund der geometrischen Gegebenheiten kein konstanter Eingriffswinkel ergibt, wird das Verhältnis zwischen Zahnhöhe und Zahnbreite im Zahnfuß unter Berücksichtigung eines Eingriffswinkel im Zahnmittbereich von  $20^\circ \leq \alpha \leq 25^\circ$ , in Anlehnung an die DIN 876, gesetzt [7]. Damit wird sichergestellt, dass das Verhältnis zwischen Radial- und Tangentialkraft im Zahnsegment zu einer maximalen Drehmomentübertragung führt. Die Exzentrizität bestimmt den Hub des Zahnsegments. Aus diesem Grund wird die Zahnhöhe mindestens gleich der zweifachen Exzenterlänge gewählt, da es sonst im oberen Totpunkt zu einer Kollision zwischen Zahnfuß des einfahrenden Zahns und des Zahnkopfes des Hohlrades kommt. Die Exzentrizität ( $e$ ) wird mit 1 mm definiert und ein Abstand zum Totpunkt von 0,5 mm gewählt, wodurch sich eine Zahnlänge ( $l_z$ ) von 2,5 mm ergibt. Die Zahnbreite im Zahnfuß wird mit 2 mm definiert. Als weitere Randbedingung wird ein tangentialer Übergang der beiden Flanken (Hohlrad, Zahnsegment) gefordert, um einen ruckfreien Eingriff zu realisieren. Daraus ergeben sich die folgenden Randbedingungen.

$$\begin{aligned} x_3(0) &= -2.5 \\ x_3(l) &= 0 \\ \frac{d}{dt} y_3(l) &= 0 \end{aligned}$$

Die Form der Zahnflanke nach Berechnung der Konstanten ist in nachstehender Gleichung ersichtlich.

$$y_3(x_3) = -2.5 x_3^2 + 2.5 \tag{6}$$

Die Kurvenschar (in blau **Bild 4**) der Zahnbewegung wird in Abhängigkeit der Position ( $x_{3|2}, y_{3|2}$ ) und der Kurbelwellwinkelstellungen  $\varphi_0$  als Funktion  $F(x_{3|2}, y_{3|2}, \varphi_0) = 0$  im ortsfesten Koordinatensystem des Hohlrades (System II) definiert. Wenn vorhanden, lässt sich die Hüllkurve (in rot Bild 3) über die partielle Ableitung der Kurvenschar (Glg. 7) ermitteln [9].

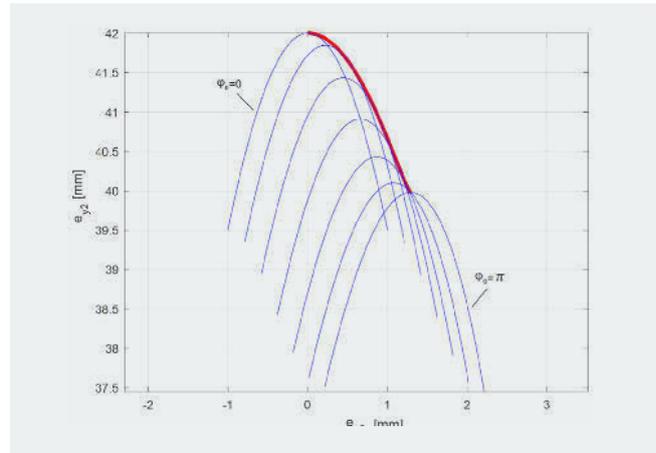
$$\frac{\partial F(x_{3|2}, y_{3|2}, \varphi_0)}{\partial \varphi_0} = 0 \tag{7}$$

Die resultierende Hüllkurve (in rot Bild 4) der Zahnkontur-Kurvenschar (in blau Bild 4) repräsentiert das korrespondierende Flankenprofil des Hohlrades.

Die Verwendung der oben beschriebenen Zahnform erlaubt somit die Realisierung eines hinterschnittfreien Zahnkontaktes, durch den sich eine konstante Abtriebsbewegung einstellt.

Eine Übersicht der geometrischen Parameter des Getriebes ist in **Tabelle 1** ersichtlich.

Im Folgenden wird der Ansatz zur Kalkulation der auftretenden Belastungen und der gegebenen Torsionsfestigkeit dargelegt.



**Bild 4.** Quadratische Funktion als Verzahnung des Zahnsegmentes. Grafik: eigene Darstellung

**Tabelle 1.** Parameter für Verzahnungsgeometrie.

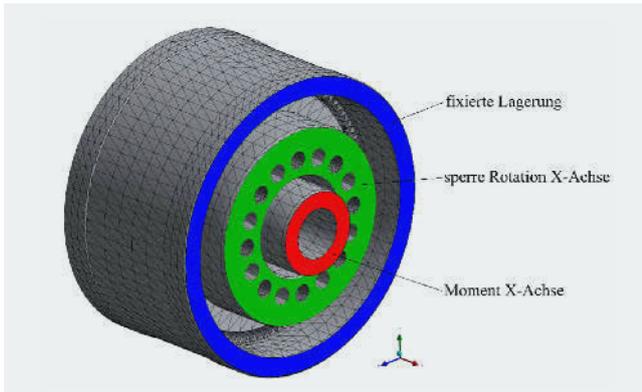
$Z_{H1}$	97
$n_z$	16
$e$	1 mm
$r_K$	22,5 mm
$l_v$	6 mm
$l_z$	10 mm

Als Referenz für die Kalkulation wird das maximal zulässige Drehmoment, das wiederholt und theoretisch unendlich oft angewandt werden kann, herangezogen. Vorherige Finite-Elemente (FE) Untersuchungen legten einen Wert von 110 Nm als Basis für die anschließenden Kalkulationen fest.

Im idealen Fall ist jedes Zahnsegment ständig mit der Hohlradverzahnung im Kontakt. Die Hälfte der Zähne greift in Belastungsrichtung ein, während die anderen mit den gegenüberliegenden Flanken interagieren. Bei 16 Zahnsegmenten tragen daher ständig 8 Zahnsegmente die Last. Bei Berücksichtigung der Verzahnungsfestigkeit steigt diese Zahl temporär um ein Zahnsegment. Fertigungstoleranzen erfordern ein Verzahnungsspiel welches als Abstand der Kopfspitze des Zahnsegments zum Zahnfuß des Hohlrades im oberen Totpunkt definiert ist. Eine Kopfkürzung der Hohlradverzahnung sowie der einfahrenden Zahnsegmente ist vorgesehen. Dadurch verlieren die Zähne im Bereich der Totpunkte den Eingriff und die effektive Anzahl der lasttragenden Zähne sinkt. Wie viele Zähne zu einem bestimmten Zeitpunkt in Eingriff sind, kann durch die Ein- und Ausfahrpunkte ermittelt werden. Bei 0,1 mm Kopfspiel sind vier Zähne lasttragend.

### 4 Numerische Festigkeitsberechnung zur Berechnung der auftretenden Spannungen und Abschätzung der zulässigen Drehmomente

Die meisten im Getriebe vorhandenen Bauteile und Maschinenelemente, wie Wälzlager, Schraubenverbindungen, Wellen etc. können durch auf analytischen und empirischen Methoden basierende Berechnungsprogramme ausgelegt werden. Für die Füh-



**Bild 5.** Modell und Randbedingungen. Grafik: eigene Darstellung

**Tabelle 2.** Materialeigenschaften Stahl [8].

$\rho$	7850 kg/m <sup>3</sup>
E	200 GPa
N	0,3

Die Berechnung der Zahnsegmente und die Verzahnung sind numerische Methoden erforderlich, weil analytische Vereinfachungen für diese Teile nicht anwendbar sind. Der Fokus in diesem Aufsatz liegt in der Auslegung der Verzahnung.

Um die für die Modellbildung notwendigen Abstraktionen des realen Systems möglichst klein zu halten, werden ein numerisches Modell der gesamten Baugruppe mit dem Finite-Elemente Programm Ansys Mechanical aufgebaut und anschließend mehrere nichtlineare, quasistatische Analysen durchgeführt. Ziel bei der Modellbildung ist es, einen Kompromiss aus Berechnungsgenauigkeit und Konvergenz der betrachteten Zielgrößen sowie der nötigen Berechnungsdauer des Modells zu erreichen.

Um die Modellgröße zu reduzieren, werden alle im System enthaltenen Wälzlager durch die Körper-Körper Verbindung Buchse ersetzt und die Steifigkeiten der Wälzlager als Kraft-Weg Kurve hinterlegt. Die Steifigkeitsverläufe werden mithilfe des Berechnungsprogramms „Bearinx“ von Schaeffler ermittelt [11]. Der Fokus der Diskretisierung liegt auf den Kontaktstellen und dem Zahnfußbereich, um die Systemsteifigkeit und Zahnfußspannungen genau abbilden zu können.

Das resultierende Modell (**Bild 5**) besteht aus 1.158.861 Knoten und 519.203 Elementen mit 266 reibungsbehafteten Kontaktstellen sowie fünf Lagerstellen. Für den Haftreibungskoeffizienten in den Kontakten wird  $\mu_r = 0,008$  gewählt. Dieser Durchschnittswert wurde durch den Vergleich von Mehrkörpersimulationen (MKS) mit den Ergebnissen des Gesamtgetriebewirkungsgrades aus Prüfläufen unter Nennlast sowie im lastfreien Zustand ermittelt. Die Krafterhöhung durch Reibung in den Kontakten wird damit in erster Näherung dargestellt. Über den Vergleich mit Mehrkörpersimulationen kann zusätzlich der Kraftverlauf über den Zahneingriff verglichen und verifiziert werden. Als Material wird allen Körpern Stahl mit den in **Tabelle 2** gezeigten physikalischen Eigenschaften zugewiesen.

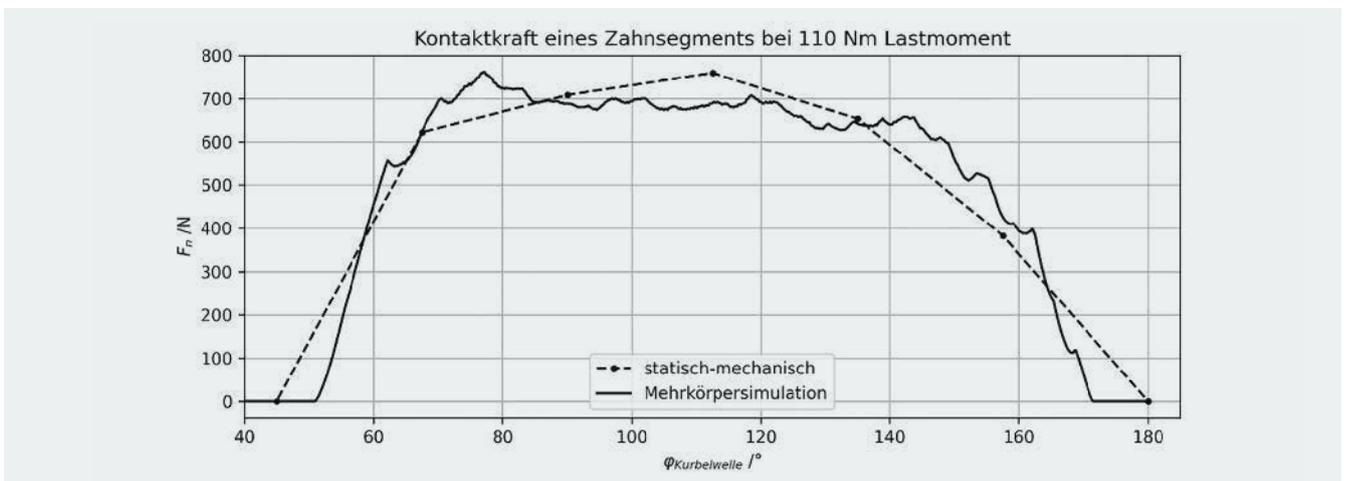
Als Randbedingungen für die strukturmechanische Berechnung werden eine fixierte Lagerung am Hohlrad sowie ein Antriebsmoment an der Kurbelwelle gewählt. Der Steg wird an der Rotation um die X-Achse gehindert und das Reaktionsmoment, welches dem Lastmoment von 110 Nm entspricht, ausgewertet. Vor der Hauptberechnung werden in mehreren Iterationsschritten die Kontaktsteifigkeiten sowie die Diskretisierung angepasst, um eine Konvergenz hinsichtlich der numerischen Kontakt-Durchdringungen sowie der Torsionssteifigkeit des Getriebes zu erreichen.

Mit dem erstellten Modell können die im System auftretenden Verformungen sowie die Reaktionskräfte zwischen den Körpern berechnet werden.

Der Normalkraftverlauf eines Zahnsegments ist in **Bild 6** dargestellt. Die Übereinstimmung zwischen FEM- und MKS-Modellierung zeigt eine hohe Qualität der Kontaktmodellierung und dient als Verifikation.

Für präzise Spannungsberechnungen des Zahnkontakts ist eine detaillierte Modelldiskretisierung erforderlich. Daher werden die Kräfte und Verformungen aus dem ersten Schritt für ein 2D-Zahnmodell als Randbedingungen verwendet.

Die Amplituden der auftretenden Mises-Vergleichsspannungen sind in **Bild 5** dargestellt und wurden mittels der Kräfte aus der MKS-Simulation berechnet. Aufgrund des breiten Zahnfußes sind die Zahnfußspannungen in einem unkritischen Bereich von max. 200 MPa. Beim Hohlrad hingegen tritt beim Zahneingriff bei etwa 68° Kurbelwinkel eine hohe Vergleichsspannung gegenüber der eingreifenden Zahnflanke auf. Die hohen Pressungen in diesem Bereich und die schmalen Zahnspitzen führen zu einem hohen Spannungsniveau im Zahnsegment. Im weiteren Eingriffsver-



**Bild 6.** Kraftverlauf. Grafik: eigene Darstellung

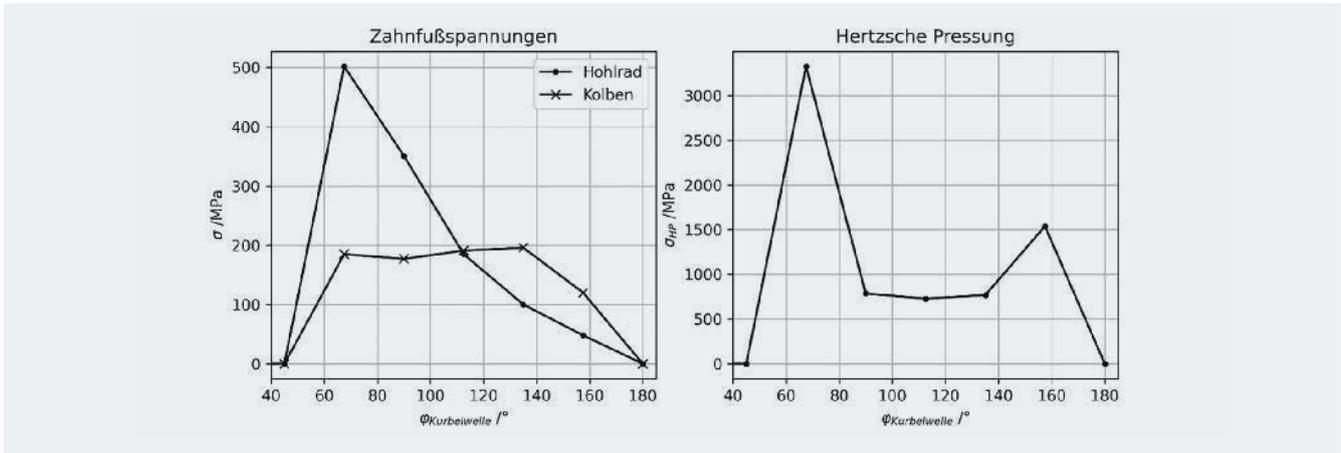


Bild 7. Spannungen 2D-Modell. Grafik: eigene Darstellung

lauf stellt sich trotz der leicht steigenden Zahnkraft (Bild 6) ein niedrigeres Spannungsniveau ein, da die Krümmungsradien im Kontakt und dadurch die Kontaktflächen in Folge elastischer Verformung ansteigen.

Bei Verwendung bestimmter hochlegierter Stähle im vergüteten Zustand, wie dem Stahl 1.2379/X155CrVMo12, können Dauerfestigkeitswerte von 559 MPa bis 687 MPa erreicht und somit die auftretenden Spannungen (s. Bild 7 links) ertragen werden [12]. Zusätzlich gilt es, die auftretenden Flächenpressungen mit zulässigen Vergleichswerten zu überprüfen. Hierfür werden für dynamische Beanspruchung Vergleichswerte aus der Fachliteratur herangezogen, welche die Größe der Dehngrenze miteinbeziehen.

Für die maximal zulässige Hertz'sche Pressung für den angenommenen Lastfall Rolle-Ebene ist unter der Annahme, dass kein Gleiten stattfindet, die zulässige Pressung eine Funktion der 0,2-%-Dehngrenze [13].

$$p_{\max, \text{zul}} < 1,67 \dots 1,79 \cdot R_{p0,2} \quad (8)$$

Die Streckgrenze des Materials 1.2379 liegt bei bei 1800 MPa [12]. Damit können Pressungen von 3006 MPa bis 3222 MPa dauerhaft erreicht werden. Diese Werte gelten allerdings nur unter der Einschränkung rollender Kontakte und sind somit nur bedingt auf das vorhandene System anwendbar [9]. Bei verschleißbehafteten Bauteilen lässt sich  $p_{\max, \text{zul}}$  über die Brinellhärte der Werkstoffs ermitteln [13].

$$p_{\max, \text{zul}} = 3 \cdot \text{HB} \quad (9)$$

Die Einordnung der ermittelten Spannungen ist somit Gegenstand aktueller Forschungen, da diese mittels Elastohydrodynamik, wie von Keller et al. gezeigt, unter dem Einfluss von Schmierstoffen berechnet und neu bewertet werden müssen [14]. Durch eine geometrische Optimierung der Zahngeometrie hinsichtlich Zahnbreite und Krümmungsradius wäre es generell möglich, sowohl die Hertz'schen Pressungen, als auch die Zahnfußspannungen im Hohlrad zu senken. Eine solche Optimierung erscheint insbesondere zu Beginn des Zahneingriffs sinnvoll zu sein da hier die Spannungen auf ca. 3300 MPa ansteigen. Zusätzlich liegt nach ersten Versuchen die Vermutung nahe, dass durch Einlaufvorgänge eine Einglättung der Oberfläche erfolgt, welche eine Senkung der maximal auftretenden Pressungen zur Folge hat.

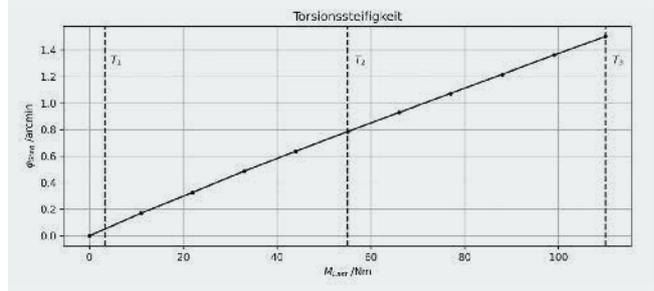


Bild 8. Torsionssteifigkeit. Grafik: eigene Darstellung

## 5 Numerische Berechnung der Torsionssteifigkeit

Mithilfe des zuvor beschriebenen Modells lässt sich auch die Torsionssteifigkeit berechnen. Es bildet die strukturmechanische Steifigkeit mit allen nichtlinearen Kontakten und Lagersteifigkeiten ab. Bei blockierter Pleuellrotation um die X-Achse und einem Lastmoment am Steg wird der der Steifigkeitsverlauf bei Torsion ermittelt.

Für die Auswertung des elastischen Steifigkeitsverlaufs werden drei Grenzmomente  $T_1$ ,  $T_2$  und  $T_3$  herangezogen, wobei  $T_3$  dem wiederholbaren Spitzenmoment von 110 Nm entspricht. Der Verlauf der Steifigkeit wird vom Nullpunkt bis zum jeweiligen Grenzmoment linearisiert, wodurch für jedes der Grenzmomente ein zugehöriger Steifigkeitskennwert angegeben werden kann. Die Momentbereiche sowie die zugehörigen Torsionssteifigkeiten sind in Tabelle 3 dargestellt.

Der größte Einflussfaktor bei der Berechnung der Torsionssteifigkeit sind allerdings die Verläufe der radialen Steifigkeiten der verwendeten Wälzlager, welche in einem eindimensionalen Lastfall mittels Bearinx ermittelt wurden. Eine Vorspannung der Lager wurde dabei zwar berücksichtigt, die Steifigkeit des gesamten Simulationsmodells muss allerdings in weiteren Versuchen verifiziert werden.

Tabelle 3. Grenzmomente und zugehörige Torsionssteifigkeiten.

j	$T_j$	$K_j$
1	3.3 Nm	64.7 $\frac{\text{Nm}}{\text{grad/mm}}$
2	55 Nm	70.1 $\frac{\text{Nm}}{\text{grad/mm}}$
3	110 Nm	73.2 $\frac{\text{Nm}}{\text{grad/mm}}$

### Abkürzungsverzeichnis

$\beta_v$	Verbindungsglied Winkel	[deg]	$n_z$	Anzahl der Zahnsegmente	[-]
E	E-Modul	[GPa]	$p_{\max, zul}$	Maximal zulässige Pressung	[MPa]
e	Exzentrizität	[mm]	$\varphi_0$	Drehwinkel Kurbelwelle	[deg]
HB	Brinell Härte	[-]	$\varphi_{HR}$	Drehwinkel Hohlrad	[deg]
$i_H$	Übersetzung bei fixiertem Steg	[-]	$\rho$	Dichte	[kg · m <sup>-3</sup> ]
$i_S$	Übersetzung bei fixiertem Hohlrad	[-]	$r_K$	Radius Koppelglied	[mm]
$K_j$	Torsionssteifigkeit	[Nm · arcmin <sup>-1</sup> ]	$R_{p0,2}$	0,2%-Dehngrenze	[MPa]
$l_v$	Länge Verbindungsglied	[mm]	$s(\varphi_0)$	Position Zahnsegment	[mm]
$l_z$	Länge Zahnsegment	[mm]	$T_j$	Grenzdrehmoment	[Nm]
$\mu$	Haftreibungkoeffizient	[-]	$z_H$	Anzahl der Zähne im Hohlrad	[-]
$\nu$	Querkontraktionszahl	[-]			

## 5.1 Anwendungsbeispiel

Die hohe Torsionssteifigkeit des Kurbelwellengetriebes im Vergleich zu zahnradbasierten Getriebeösungen bietet Antrieben großer Lasten die Möglichkeit die Traglasten weiter zu erhöhen und den Positionsfehler zu reduzieren. Der durch den hohen Überdeckungsgrad entstehende gleichförmiger Abtrieb reduziert Vibrationen und senkt damit die Belastung der Antriebsmaschine. Im Falle der ersten Beispielanwendung eines Werkzeugwechslertellers konnte bei gleichbleibendem Bauraum die Anzahl der Werkzeugaufnahmen von 18 auf 32 erhöht werden indem das hierfür geforderte Spitzendrehmoment von erreicht wurde. Die geforderte Kippsteifigkeit von  $420 \frac{\text{Nm}}{\text{arcmin}}$  wurde durch den Einsatz von Schrägkugellagern erreicht und erspart damit eine externe Lagerung. Die geforderte Torsionssteifigkeit von  $40 \frac{\text{Nm}}{\text{arcmin}}$  konnte um 57 % übertroffen werden. Die Rüstzeit der zusätzlichen 14 Werkzeuge entfällt durch den Einsatz der vorgestellten Getriebeösung und die dadurch resultierende höhere Verfügbarkeit konnte um 40 % gesteigert werden. Weitere konstruktive Anpassungen an der Anlage mussten nicht vorgenommen werden da die Flansch- und Baugröße ident sind.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Die kinematische Kette und der Einfluss der Verzahnung auf die Bauteilbelastung sowie die resultierende Abtriebeigenschaften des neuartigen hochuntersetzenden Getriebes wurden dargestellt. Der Aufbau der Simulation sowie die Berechnung der Kräfte, resultierenden Spannungen und Torsionssteifigkeiten verdeutlichten zum Einen das Potenzial der Getriebeösung für hochbelastete Positionierungsaufgaben und zeigten zum Anderen das weitere Potenzial durch die weitere Optimierung der Zahnform auf. Es wurde gezeigt, dass durch die dargestellte erste Iteration eine passende Zahnform die Drehmomentkapazität sowie die Torsionssteifigkeit des Systems im Vergleich zur bestehenden Lösungen gesteigert werden konnten. Eine weitere Optimierung des Zahnprofils zur Senkung der maximal auftretenden Pressungen erfolgt anhand der Analyse der eingelaufenen Getriebe und weiteren Simulationen mittels „optiSLang“. Das Kurbelgetriebe ist dank Hohlwellenausführung, Motor- sowie Sensorintegration für diverse Anwendungen der Anlagentechnik und Robotik, uva. geeignet. ■

### Literatur

- [1] Brock, R.: Getriebetechnik: Lehrbuch, Verlag Technik, Berlin (1987).
- [2] Eisele, P.; Michelitsch, M.: Koaxialgetriebe Patent Nr. EP4004406A1, Europäisches Patentamt, München (2020).
- [3] Klocke, F., Brecher, C.: Zahnrad- und Getriebetechnik, Carl Hanser Verlag, München (2017)..
- [4] Burger T., et. al.: High Torque, Torsional Stiff and Precise – The Wittenstein Galaxy-Kinematics. VDI Berichte, Düsseldorf (2015).
- [5] Ritti, T., et. al.: A relief of a water-powered stone saw mill on a sarcophagus at Hierapolis and its implications, Journal of Roman Archaeology Volume 20, Cambridge University Press, Cambridge (2007).
- [6] Eisele, P., et. al.: Koaxialgetriebe Patent Nr. WO 2023/088656 A1, WIPO, München (2022).
- [7] Müller, H. W.: Die Umlaufgetriebe, Springer, Heidelberg (1998).
- [8] Witte, H. et. al.: Maschinenelemente: Normung, Berechnung, Gestaltung, Springer, Wiesbaden (2021).
- [9] Haftendorn, D.: Kurven erkunden und verstehen, Springer Spektrum, Wiesbaden (2017).
- [10] ANSYS Workbench 2022 (R2) [Software]. <https://www.ansys.com/products/ansys-workbench>, Canonsburg (2022).
- [11] Schaeffler Bearinx Vers. 12.0.9106 [Software] [https://www.at.schaeffler.com/de/produkte-und-loesungen/industrie/berechnung-und-beratung/berechnung/bearinx\\_online\\_shaft\\_calculation/](https://www.at.schaeffler.com/de/produkte-und-loesungen/industrie/berechnung-und-beratung/berechnung/bearinx_online_shaft_calculation/), Herzogenaurach (2022).
- [12] ANSYS Granta Selector (R2) [Software]. <https://www.ansys.com/products/materials/granta-selector>, ANSYS Inc., Herzogenaurach (2022).
- [13] Schlecht, B.: Maschinenelemente 1: Festigkeit, Wellen, Verbindungen, Federn, Kupplungen, Pearson, München (2015).
- [14] Keller, M., et. al.: TEHL simulation model for the tooth flank contact of a single tooth gearbox under mixed friction conditions. Tribology International 151, Elsevier B.V., Amsterdam (2020).



Dipl.-Ing. **Philipp Eisele**, B. Sc.

Dissertant im Bereich der Getriebefertigung  
[philipp.eisele@tugraz.at](mailto:philipp.eisele@tugraz.at)

Foto: Autor

Dipl.-Ing. **Gottfried Brunbauer**, B. Sc.

Dipl.-Ing. **Lukas Dietrich**, B. Sc.

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Franz Haas**

Institut für Fertigungstechnik  
Technische Universität Graz  
Kopernikusgasse 24/I, A-8010 Graz

## Weidmüller und WSCAD beschließen Premiumpartnerschaft

Im Rahmen der Messe SPS 2023 hat der Softwarehersteller WSCAD das Elektronik- und Verbindungstechnikunternehmen Weidmüller als Premiumpartner in der Bereitstellung digitaler Artikeldaten im neuen WSCAD Standard auf [www.wscaduniverse.com](http://www.wscaduniverse.com) ausgezeichnet. Bereits bei der Definition des neuen WSCAD-Datenstandards sei Weidmüller als Partner maßgeblich involviert gewesen. Gemeinsam hätten die beiden Partner analysiert, welche Informationen ihre Kunden heute und in Zukunft in ihren Artikeldaten benötigen. So wurde der Grundstein für eine neue Datenqualität gelegt, welche den höchsten Ansprüchen gerecht werde. Aufgrund der Premiumpartnerschaft in Verbindung mit dem gemeinsamen Qualitätssicherungsprozess könne Weidmüller sicherstellen, dass die Datensätze zu den Weidmüller-Komponenten immer aktuell und in hoher Qualität zur Verfügung stehen. Insgesamt werde das Elektro-Engineering dadurch schneller, einfacher und zuverlässiger. Darüber



**Zuverlässige digitale Artikeldaten** durch die Zusammenarbeit von Komponentenhersteller Weidmüller und Softwarehersteller WSCAD. Foto: Weidmüller

hinaus gewinne Weidmüller durch die Zusammenarbeit zusätzliche Nähe zum Kunden – die Bedürfnisse der User stehen konsequent im Fokus. Mit der E-CAD-Lösung von WSCAD können Anwender die Weidmüller-Lösungen

vollständig und direkt aus der Anwendung heraus nutzen. Selbstverständlich auch über die Schnittstelle des Weidmüller Configurators (WMC) zu WSCAD-Daten, heißt es weiter. [www.weidmueller.com](http://www.weidmueller.com)

## Vorschau 3/2024



**Flexibel anpassbare Vakuumisulationspaneele (VIPs)** lassen sich in bestehende Automobil-Designs integrieren. Foto: va-Q-tec AG

### E-Mobilität

Im Winter stellt der Blick auf die Batterieanzeige ein Ärgernis für viele E-Autofahrer dar. Die Reichweite sinkt bei kalten Temperaturen oft drastisch. W hingegen 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.

### Automation

Mit drei Flächengreifer werden die Beschäftigten im Hauptwerk von PC Electric in Oberösterreich bei der Kommissionierung entlastet. Sie etikettieren und stapeln automatisch rund 700.000 Schachteln pro Woche. Bisher eine sehr anstrengende Tätigkeit, weil die Schachteln bis 2,5 kg wiegen können.



**Fraunhofer-Wissenschaftler** Clemens Briebe bei der Erprobung von Cir Log in der AEMP des Campus Benjamin Franklin der Charité Berlin. Foto: Fraunhofer IPK

## KI-basiertes Kamerasystem für die Aufbereitung von Medizinprodukten

Der Fachkräftemangel im Gesundheitswesen betrifft nicht nur das medizinische Personal, sondern auch viele Dienstleistungskräfte, die den reibungslosen Betrieb von Kliniken und Krankenhäusern gewährleisten. Besonders hoch ist der Bedarf an qualifiziertem Personal in den sogenannten Aufbereitungseinheiten für Medizinprodukte, kurz AEMP. Dort werden für jede Operation vorab die benötigten Instrumente von Hand gereinigt, sortiert, verpackt und sterilisiert. Allein an der Charité werden jährlich rund 14 Millionen OP-Bestecke unter strengsten Hygiene- und Qualitätsstandards aufbereitet. In den meisten AEMPs gilt eine Null-Fehler-Politik, denn Probleme, die dort auftreten, haben direkte Auswirkungen auf die Behandlung von Patientinnen und Patienten. Das Personal an den Packplätzen muss deshalb sicherstellen, dass alle für eine OP benötigten Instrumente vollzählig in den sogenannten OP-Sieben enthalten sind. Keine einfache Aufgabe bei bis zu 160 Skalpell, Scheren, Klammern und anderen Instrumenten, die möglichst effizient in ein solches Sieb gepackt werden müssen.

Ein auf neuesten KI-Techniken basierendes Kamerasystem soll die Mitarbeitenden dabei zukünftig unterstützen: Es heißt CirLog und wird derzeit von Forschern des Fraunhofer IPK entwickelt. Die Kamera soll OP-Instrumente mithilfe von Algorithmen des maschinellen Lernens erkennen und verfolgen, und das markerlos, nur anhand ihres Aussehens. Sie soll zuverlässig unterschiedliche OP-Bestecke lokalisieren und prüfen, welche Instrumente tatsächlich in ein Sieb gepackt wurden, welche noch fehlen und auch Instrumente identifizieren, die nicht zum Sieb gehören. CirLog wird damit quasi wie ein Barcodescanner arbeiten, nur ohne Barcode. Teures und zeitintensives Aufbringen von Barcodes, Datamatrix-Codes oder RFID-Chips, wie es derzeit für das Tracking von OP-Instrumenten üblich ist, wird überflüssig. Aufgrund seines kompakten Designs ist das Kamerasystem platzsparend an handelsüblichen Packtischen einsetzbar und kann in jeder AEMP einfach installiert oder nachgerüstet werden. „Wir sind überzeugt davon, dass unsere Lösung einen großen Mehrwert für Krankenhäuser und Kliniken bietet, weil sie nicht nur Zeit und Kosten spart, sondern auch die Prozesssicherheit verbessert,“ sagt Jan Lehr, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IPK. CirLog erleichtere die Einarbeitung neuer Mitarbeitender und ermögliche auf Anhieb deutlich schnellere Packzeiten, insbesondere auch für ungelerntes oder neues Personal. „Wir schätzen, dass erfahrene Mitarbeitende mit CirLog 30 % effektiver arbeiten können. Die Einarbeitungszeit für neues Personal verringert sich um 65 %,“ so Lehr. Das Kamerasystem liefert außerdem eine digitale Dokumentation zu jedem Packprozess und trägt so zur Qualitätssicherung in den AEMPs bei. Nicht zuletzt erhöht es auch die Sicherheit für Patientinnen und Patienten: Aufgrund des kontrollierten und dokumentierten Packprozesses der OP-Siebe werden fehlende oder falsche Instrumente, welche sonst erst während einer Operation auffallen würden, vermieden. Dadurch können Operationen wie geplant durchgeführt und OP-Pläne eingehalten werden.

Prototypen von Cir-Log sind bereits unter anderem am Charité Campus Benjamin Franklin in Berlin im Einsatz.

[www.ipk.fraunhofer.de](http://www.ipk.fraunhofer.de)

## Grundlagen der Antriebstechnik

### Ein einführendes Lehrbuch

Das Fachgebiet der elektrischen Maschinen und Antriebe wird oft als kompliziert und schwer verständlich wahrgenommen. Dieses Lehrbuch will dabei schnell Abhilfe schaffen.

Es richtet sich an Student:innen einer Bachelor-Ausbildung sowie an Schüler:innen in der Aus- und Weiterbildung, die in das Fachgebiet der elektrischen Maschinen und Antriebe einsteigen. Ausgerüstet mit dem grundlegenden Handwerkszeug der Elektrotechnik und Mathematik sollen die Grundzüge der elektrischen Maschinen und Antriebe auf anschauliche Weise knapp und übersichtlich vermittelt werden. Das Fachwissen wird auf das Wesentliche reduziert. Was für das Verständnis der Grundzüge nicht notwendig ist, wird entweder weggelassen oder als vertiefendes Fachwissen gekennzeichnet. Zahlreiche Illustrationen unterstützen die Darstellung und vermitteln anschaulich die wichtigsten Sachverhalte.

Nach dem inhaltlichen Einstieg in die Grundlagen der Mechanik geht es weiter mit den Ein- und Dreiphasentransformatoren, Gleichstrom-, Asynchron- und Synchronmaschinen. Die Leistungselektronik als elementarer Teil der Antriebstechnik wird in ihren Grundzügen ebenfalls behandelt. Die unterschiedlichen Maschinentekniken werden hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile miteinander verglichen und ihre Anwendungen in Industrie, der Energieerzeugung und der Elektromobilität untersucht.

*Christian Kral: Grundlagen der Antriebstechnik – Ein einführendes Lehrbuch. Carl Hanser 2023. 432 S., ISBN: 978-3-446-47375-1, 29,99 Euro.*



**Grundlagen der Antriebstechnik** – Ein einführendes Lehrbuch – 432 Seiten – 29,99 Euro. Foto: Hanser Verlag



**Bild 1:** Im SFB 1368 untersucht das LZH an einer selbst entwickelten Anlage die Prozessierbarkeit von Metallpulvern beim selektiven Laserstrahlschmelzen in sauerstofffreier Atmosphäre. Foto: LZH

LZH forscht an sauerstofffreier Produktion

## Löten und 3D-Drucken ohne Oxidation

Bei der Metallverarbeitung ist Oxidation ein leidiges Thema. Abhilfe schaffen könnte die Produktion in sauerstofffreier Umgebung. Das Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH) erforscht, wie sich dieses Konzept in der Additiven Fertigung und beim Löten umsetzen lässt.

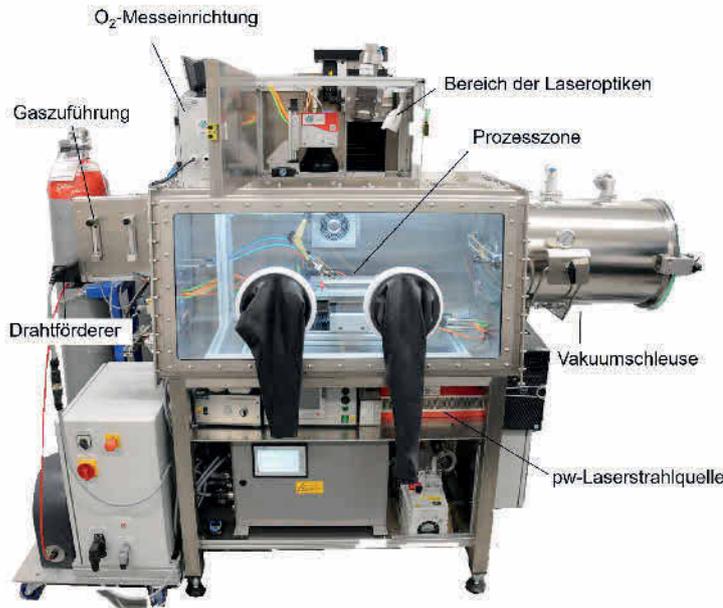
**S**auerstoff ist in vielen Produktionsprozessen in der metallverarbeitenden Industrie ein Störfaktor: Die Oxidschichten, die beim Bearbeiten von Metallen durch den Sauerstoff in der Umgebung entstehen, können das Fügen von Werkstücken erschweren und den Verschleiß von Bauteilen und Werkzeugen beschleunigen. Im Sonderforschungsbereich 1368 „Sauerstofffreie Produktion“ nutzen die Forscher:innen eine innovative Methode, um dem Oxidationsproblem zu begegnen: Sie führen während der Produktion ein Argon-Schutzgas mit einem kleinen Anteil Silan zu. Das Silan reagiert mit dem Sau-

erstoff der Umgebung und es entsteht eine XHV-adäquate Atmosphäre, also eine Atmosphäre mit einem so geringen Sauerstoffgehalt wie in einem extrem hohen Vakuum. Dieser Ansatz zum Ausschließen von Sauerstoff ist dabei wesentlich wirtschaftlicher als die Umsetzung eines technischen Vakuums. Am LZH erforschen Wissenschaftler:innen diesen Ansatz für das pulverbettbasierte Laserstrahlschmelzen und für das Laserstrahlhartlöten.

### Ziel: Laserstrahlhartlöten ohne Flussmittel

Die Gruppe Fügen und Trennen von Metallen hat in einem Teilprojekt einen

neuartigen Lötprozess entwickelt, der ohne den Einsatz von Flussmitteln auskommt. Die zum Teil umwelt- und gesundheitsschädlichen Flussmittel werden üblicherweise genutzt, um die Oxidschicht auf der Materialoberfläche aufzubrechen und so zu ermöglichen, dass Metall und Lot zusammen reagieren. In dem neu entwickelten Prozess brechen die LZH-Forscher:innen die Oxidschicht stattdessen mit einer ns-gepulsten Laserstrahlquelle auf. Anschließend erfolgt der Lötprozess mit cw-Laserstrahlung unter Silan-Atmosphäre. Aufgrund der sauerstofffreien Atmosphäre wird verhindert, dass die Oberfläche zwischen den Prozessschritten erneut oxidiert.



**Bild 2:** Im Rahmen der Arbeiten im SFB 1368 untersucht das LZH auch das Laserstrahllöten in sauerstofffreier Atmosphäre. Foto: LZH

Wie die Forscher:innen zeigen konnten, ist es möglich, unter sauerstofffreier Atmosphäre die Oxidschicht auf Aluminiumlegierungen dauerhaft zu entfernen. Somit war anschließend eine Benetzung der Oberfläche mit einem artgleichen Lotwerkstoff möglich. In der zweiten Förderperiode werden die Forscher:innen den Prozess auf die herausfordernde Mischverbindung aus Aluminium und Kupfer übertragen und die Prozessgrenzen erforschen.

## Additive Fertigung unter sauerstofffreier Atmosphäre

Die Gruppe Additive Fertigung – Metalle erforscht, wie sich Metallpulver beim pulverbettbasierten Laserstrahlschmelzen in sauerstofffreier Atmosphäre verarbeiten lassen. Auf einer eigens dafür entwickelten Anlage für das pulverbettbasierte Laserstrahlschmelzen von Metallen (PBF-LB/M-Verfahren) wurde dazu der Prozess anhand der Titanlegierung Ti-6Al-4V entwickelt und mittels Hochgeschwindigkeitskameras überwacht.

Ziel des Teilprojektes ist es, ein grundlegendes Verständnis für den Prozess unter sauerstofffreier Atmosphäre und den Einfluss des Sauerstoffs zu erlangen. Erwartet haben die Forscher:innen, dass die Abwesenheit von Sauerstoff zu einem stabileren Prozess, weniger Spritzern und besseren Bauteileigenschaften führt. Sie konnten

zeigen: Die Spritzer verringern sich nicht nur in ihrer Anzahl, sondern oxidieren auch weniger stark, was die Degradierung des Pulvers vermindert. Für eine weitere Verbesserung des Prozesses und der Bauteilqualität ist es aber wichtig, auch die Feuchtigkeit in Atmosphäre und Pulver zu eliminieren, was in Förderperiode 2 eingehend untersucht werden soll. ■

## ÜBER DEN SFB 1368

Im Sonderforschungsbereich 1368 „Sauerstofffreie Produktion – Prozesse und Wirkzonen in sauerstofffreier Atmosphäre zur Entwicklung zukunftsfähiger Produktionstechniken und Fertigungsverfahren“ sind neben dem LZH acht Institute der Leibniz Universität Hannover, vier Institute der Technischen Universität Clausthal sowie der Lehrstuhl Datenmanagement im Maschinenbau der Universität Paderborn beteiligt. Der SFB wird von der DFG gefördert. Die zweite Förderperiode wird mit rund 10,5 Mio. Euro bis Ende 2027 gefördert.

## Kontakt

Laser Zentrum Hannover e.V.  
30419 Hannover  
[www.lzh.de](http://www.lzh.de)

## Impulsströme

### Eine Einführung in die Grundlagen der physikalischen Modellierung

Dieses Buch befasst sich mit den Grundzügen der physikalischen Modellierung und den vielfältigen Fragestellungen, die damit verbunden sind:

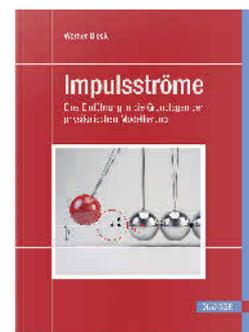
- Was ist ein physikalisches Modell und wie erstellt man es?
- Welche Vorteile, Grenzen und Risiken sind mit der Modellierung physikalischer Phänomene verknüpft?
- Gibt es „wahre“ Modelle und lassen sich objektive Kriterien finden, um zu entscheiden, wann ein Modell „stimmt“?
- Wie sind physikalische Modellgrößen und -gesetze diesbezüglich einzuordnen?
- Was versteht man in der Physik beispielsweise unter den Modellbegriffen Energie und Entropie?
- Gibt es Kräfte „wirklich“ oder haben wir es vielmehr mit Impulsströmen zu tun?

Mit der Beantwortung dieser und weiterer Grundsatzfragen wird, so der Verlag, eine Lücke in der naturwissenschaftlichen Ausbildung geschlossen. Das Buch ermöglicht den Studierenden zu verstehen, wie die Physik methodisch vorgeht, um etwas Ordnung in die phänomenologische Vielfalt unserer Erfahrungswelt zu bringen.

Dr. Werner Bieck ist unabhängiger wissenschaftlicher Berater und Autor. Er hat an der Universität Kaiserslautern Physik und Mathematik studiert und am Institut für Oberflächen- und Schichtanalytik promoviert.

*Werner Bieck: Impulsströme – Eine Einführung in die Grundlagen der physikalischen Modellierung.* Carl Hanser Verlag 2023. 510 Seiten, ISBN:

978-3-446-47702-5, 39,99 Euro.



**Impulsströme** – Eine Einführung in die Grundlagen der physikalischen Modellierung – 510 Seiten – 39,99 Euro. Foto: Hanser Verlag

## Energieautarkes Sensorsystem

# Schwingende Maschinen überwachen

Schwingende Maschinen wie Rüttelplatten, Sortieranlagen und Siebmaschinen können aufgrund hoher Beschleunigungskräfte und rauer Witterungsbedingungen bisher nicht kontinuierlich im laufenden Prozess überwacht werden. Um die vorausschauende Wartung in Zukunft zu ermöglichen, hat die TH Köln in Kooperation mit zwei Industriepartnern ein energieautarkes Sensorsystem entwickelt und erfolgreich im Labor getestet.

Die Überwachung vibrierender Maschinen mit Hilfe von Sensoren, die per Kabel oder Akku mit Strom versorgt werden, ist nicht praktikabel, da zur Wartung der Kabelverbindung oder Wechsel des Akkus ein Stopp der Maschinen notwendig ist. Wir nutzen die Schwingungen während des Betriebs der Anlagen und wandeln einen Teil der auftretenden mechanischen Energie in elektrische Energie um, die wiederum den Betrieb des kabellosen Sensorsystems sicherstellt“, erläutert Projektleiter Prof. Dr. Axel Wellendorf vom Institut für Allgemeinen Maschinenbau der TH Köln.

## Aus Schwingungen wird elektrische Energie

Um eine drahtlose Überwachung zu ermöglichen, wurde im Rahmen des Projekt ein Sensorsystem entwickelt, welches durch einen Energiewandler mit integriertem Dämpfungssystem mit Strom versorgt wird. Der Energiewandler wandelt mechanische Energie aus Maschinenschwingungen in elektrische Energie um und gewährleistet so die Stromversorgung der angebundenen Sensoren.

Diese messen permanent die Beschleunigungskräfte der Maschine, registrieren unter anderem starke Vibrationen, die Indikation auf eine Fehlfunktion sein können und senden die Daten an eine Auswerteeinheit. Die ermittelten Daten werden zur Überwachung und Wartungsplanung drahtlos an die Techniker:innen gesendet.



Das Sensorsystem wird durch einen Energiewandler mit integriertem Dämpfungssystem mit Strom versorgt. Der Energiewandler wandelt mechanische Energie aus Maschinenschwingungen in elektrische Energie um und stellt so die Stromversorgung der angebundenen Sensoren sicher. Foto: Costa Belibasakis/TH Köln

Das Team der TH Köln entwickelte mit Hilfe von numerischen Verfahren – sogenannten FEM-Simulationen – und Laborversuchen die Konstruktionsvorgaben für den Energiewandler. Anschließend wurde ein Labormuster des Energiewandlers in der Zentralwerkstatt der TH Köln gefertigt und an einem Schwingungsprüfstand des Labors für Schwingungstechnik und Leichtbau untersucht. „Dort haben wir Versuchsreihen für den späteren realen Einsatz durchgeführt. Der Energiewandler muss auch bei geringen Maschinenschwingungen von 1 g ( $g$ =Erdbeschleunigung) genug Strom bereitstellen, dass die Sensorik und Datenübermittlung funktioniert. Gleichzeitig muss der Wandler robust ausgelegt sein und darf auch bei maximal auftretenden Schwingungen von 10 g keinen Schaden nehmen“, erklärt Wellendorf.

Das Sensorsystem ist in der Lage, den zeitlichen Verlauf der Schwingungen in allen drei Raumrichtungen zu ermitteln. Zur vorausschauenden Wartung kann aufgrund dieser Daten der Zustand einzelner Maschinenbauteile in Echtzeit überwacht werden. Durch den Abgleich der Schwingungsdaten mit Grenzwerten kann zusätzlich beurteilt werden, wie zeitnah die Wartung oder der Austausch einzelner Bauteile durchgeführt werden muss. So können den Forscher:innen zufolge Maschinenschäden verhindert und Wartungsarbeiten effizient geplant werden.

## Erprobung der Funksensorik im realen Betrieb

„Es ist uns gelungen, einen Energiewandler unter Laborbedingungen bei unterschiedlich starken Anregungen zu betreiben. Jetzt gilt es, den Energiewandler und die Funksensoren sowie deren Zusammenspiel im realen Betrieb zu erproben. In einem Folgeprojekt werden wir einen Energiewandler untersuchen, der in einem breiten Temperaturbereich und bei kleinen Anregungen funktionieren muss“, berichtet Wellendorf. Nach erfolgreichem Abschluss der Tests soll eine Kleinserienfertigung aufgebaut werden, um das Sensorsystem zu vermarkten. ■

### Kontakt

TH Köln, Campus Gummersbach  
Prof. Dr.-Ing. Axel Wellendorf  
Labor für Schwingungstechnik und Leichtbau  
51643 Gummersbach  
[axel.wellendorf@th-koeln.de](mailto:axel.wellendorf@th-koeln.de)

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

Alle Newsletter kostenfrei

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.**



**Technikwissen für Ingenieur\*innen - jetzt auswählen und bestellen:**

[ingenieur.de/news](https://ingenieur.de/news)

# Jetzt Konstruktion upgraden: Mit dem E-Paper- Abonnement

Für nur  
**79,40 EUR**  
inkl. MwSt.



Sie wollen jederzeit und überall Zugriff auf Konstruktion, Deutschlands älteste Konstruktionszeitschrift und Organ der VDI-Gesellschaften Produkt- und Prozessgestaltung und Materials Engineering? Dann sichern Sie sich jetzt zusätzlich zu den 9 Konstruktion-Printausgaben pro Jahr auch Ihr Abo-Upgrade E-Paper: 79,40 EUR inkl. MwSt.

Ihre Vorteile: Downloadfunktion, Volltext-Suche, Lesezeichen, mobiloptimiertes Design, Zugriff auf das Archiv.



**Technikwissen für Ingenieur\*innen - jetzt bestellen:**

[ingenieur.de/abo-konstruktion](https://ingenieur.de/abo-konstruktion)