

# Konstruktion

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

Sonderteil

**3D-Druck**



## TITELTHEMA: ELEKTRISCHE AUTOMATISIERUNG

### AUTOMATISIERUNG

Mehr Platz im  
Schaltschrank –  
moderne I/O-Systeme

### FLUIDTECHNIK

Ganzheitliches Konzept:  
Fünf Säulen der  
Energieeffizienz

### INGENIEUR-WERKSTOFFE

Thermoplastische  
Verbundwerkstoffe  
Trends bei der  
Werkstoffentwicklung

**sps**

smart production solutions

30. Internationale Fachmesse  
der industriellen Automation

Nürnberg, 26. – 28.11.2019  
Halle 9, Stand 9-310

COMPLETE line

COMPLETE line

# Time for the new standard

## Die Komplettlösung für Ihren Schaltschrank

COMPLETE line ist ein System aus technologisch führenden, aufeinander abgestimmten Hard- und Software-Produkten, Beratungsleistungen und Systemlösungen für die Optimierung Ihrer Prozesse im Schaltschrankbau. Für Sie werden Engineering, Beschaffung, Installation und Betrieb so deutlich einfacher.

Mehr Informationen unter Telefon +49 5235 3-12000 oder [phoenixcontact.de](http://phoenixcontact.de)

**PHOENIX  
CONTACT**  
INSPIRING INNOVATIONS

# Digitaler Zwilling oder Digitales Zwillingspärchen?

Es ist unbestritten: Der Digitale Zwilling gewinnt zunehmend an Bedeutung. In diesem Umfeld entstehen immer mehr ähnlich lautende Begriffe: Digitaler Schatten, Digitaler Master, etc. Alleine schon anhand der Intensität, mit der diese Begriffe verwendet und weiterentwickelt werden, kann man darauf schließen, dass diese Themen ein überaus hohes Interesse hervorrufen und dementsprechend auch eine besondere Bedeutung besitzen. Doch wie kam es dazu und wo kommt der Begriff des Digitalen Zwillings denn eigentlich her?

Der Ursprung kommt von der National Aeronautics and Space Administration (NASA), die den Begriff des „Digital Twins“ folgendermaßen definieren: „a concept which combines as-built vehicle components, as-experienced loads and environments, and other vehicle-specific characteristics to enable ultrahigh fidelity modeling of aircraft and spacecraft or their components throughout their service lives“ (<https://adt.larc.nasa.gov>). Dass es sich hierbei um ein für die NASA wichtiges Thema handelt, leuchtet ein. Denken wir an die Apollo 13-Mission: Das Raumschiff befand sich im Weltraum, die Signallampe leuchtete auf und informierte über eine Fehlermeldung. Diese wurde zur Bodenstation nach Houston weitergegeben; dort wurden physikalische Mock-ups und Handbücher konsultiert mit dem Ziel, eine Lösung des Problems zu finden. Leider ist es dazu nicht mehr gekommen:

Teile des Raumschiffs explodierten und der Rest der Geschichte ist bekannt. Nehmen wir nun einmal an, damals hätte es schon einen Digitalen Zwilling gegeben, der in Echtzeit die Fehlermeldung verarbeitet und sofort eine Abhilfemaßnahme initiiert hätte – die Katastrophe wäre wahrscheinlich abwendbar

**„Wir brauchen einen Digitalen Zwilling des Nutzers, der mit dem Digitalen Zwilling des Produkts interagiert.“**

gewesen! Das berühmte „Ok Houston, we’ve had a problem here“ des Apollo 13 wäre deutlich glimpflicher ausgegangen.

Scheinbar handelt es sich beim Digitalen Zwilling um ein hochwirksames, hocheffizientes Konzept. Aber was fehlt uns heutzutage daran noch? Solange es sich um geometriebasierte Daten in Verbindung mit Mess- oder Simulationsdaten handelt, sind wir gut dabei. Predictive Maintenance und die Bestimmung von Wartungsintervallen gehören inzwischen zum Stand der Technik. Interessant wird es, wenn wir Digitale Zwillinge von smarten Produkten oder gar von smarten Produkt-Service-Systemen darstellen wollen.

Ziehen wir die Systemgrenze etwas größer, stellen wir fest: Der Nutzer fehlt! Dies ist gerade dann wichtig, wenn wir Produkt-Nutzer-Interaktionen digital abbilden oder online simulieren wollen. Das Spektrum wäre riesig: von der Kleider-Shop-pingtour im Internet über die Entwicklung individuell angepasster Produkte, wie zum Beispiel Sportgeräte, bis hin zu individuellen Implantaten und Prothesen, wäre der Entwicklungsprozess individualisierter Produkte erheblich einfacher, günstiger und qualitativ besser.

Wir brauchen also einen Digitalen Zwilling des Nutzers, der mit dem Digitalen Zwilling des Produkts interagiert, was man in der jeweiligen Konstellation als Digitales Zwillingspärchen bezeichnen könnte. Auf dem Weg dahin stellen sich natürlich noch viele offene Fragen: Was werden die Standards dafür sein, wie sieht es aus mit dem Thema Datensicherheit, welcher Detaillierungsgrad wird wann benötigt? Zugegeben, dieses Thema ist noch Zukunftsmusik, allerdings sehr gut vorstellbar. Klar ist allerdings, dass hierzu noch sehr viel Forschungsarbeit zu leisten ist.



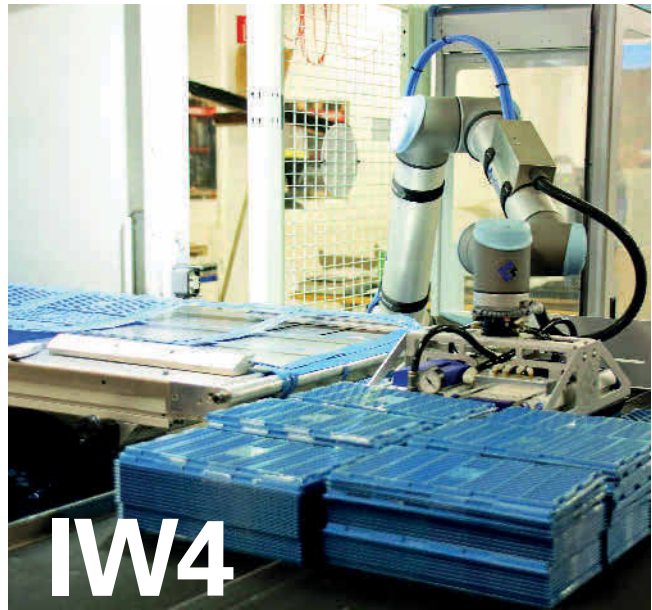
Prof. Dr.-Ing. **Sandro Wartzack**  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg  
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik  
Martensstraße 9  
91058 Erlangen  
E-Mail: [wartzack@mfk.uni-erlangen.de](mailto:wartzack@mfk.uni-erlangen.de)  
[www.mfk.uni-erlangen.de](http://www.mfk.uni-erlangen.de)





42

Um den Herausforderungen an einen Raumfahrt-Lander gerecht zu werden, haben Autodesk und das Jet Propulsion Laboratory der NASA ein gemeinsames Forschungsprojekt gestartet. (Bild: Autodesk)



IW4

Die Tiefziehooperation allein reicht als Leistung heute nicht mehr aus, wie der Systemanbieter von Kunststoffbaugruppen, die Firma Grütter, weiß. Abläufe und Logistik zählen ebenso. (Bild: Vollrath)

## Forum

- 3** Gastkommentar: „Digitaler Zwilling oder Digitales Zwillingsspärgchen?
- 6** Branchen-News, Impressum
- 9** Veranstaltungen
- 12** VDI-GPP-Nachrichten

## Elektrische Automatisierung

- 14** Cloudbasiert zum Schaltplan
- 18** Steuerung mit völlig offener Softwarearchitektur
- 20** Bestens unterwegs mit optischer Spurführung
- 24** Transpondercodierte Zuhaltung für die Verpackungsindustrie
- 28** Mehr Platz im Schaltschrank
- 31** Die digitale Infrastruktur der Industrie 4.0
- 34** Energieversorgung mit Gleichstrom sichern
- 23, 27** Produkte

## Verbindungstechnik

- 37** Trends beim Verguss elektronischer Anwendungen

## 3-D-Druck

- 40** Masse um 35 Prozent reduziert
- 42** 3D-Druckern gelingt nachhaltige Fertigung hitzebeständiger Materialien
- 44** Neuartige Materialien sollen 3-D-Druck zum Durchbruch verhelfen
- 47** Produkte

## Fluidtechnik

- 48** Fünf Säulen der Energieeffizienz
- 50** Produkte

## Maschinenelemente

- 52** „MAGMAKegel“: Simulation abweichungsbehafteter Kegelrollenlager
- 55** Produkte

## Industrielle Kennzeichnung

- 56** 2-D-Codes in der industriellen Kennzeichnung
- 58** Produkte

## Fachteil Ingenieur-Werkstoffe

- IW2** A. Bose-Munde  
Trends von der Werkstoffwoche
- IW4** K. Vollrath  
Transportmittel für die Produktions-Logistik
- IW7** 3D-Druck für die Verbundstofffertigung
- IW8** Einsatz thermoplastischer Verbundwerkstoffe
- IW10** Produkte
- IW11** Faserverstärkte Leichtbauteile fertigen
- IW12** Interview zur Euroguss
- IW14** Branchen-News
- IW16** Produkte

## Cameras and Software

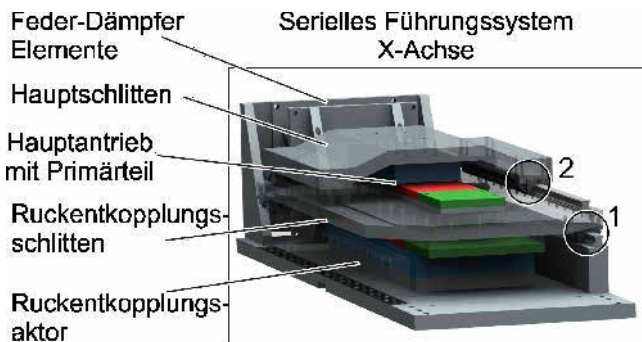
# KEEPING AN EYE ON YOUR PROCESS. EASILY.



**B** innovating automation

Wer selbst die kleinsten Fehler im Produktionsprozess erkennen möchte, muss genau hinschauen und das Potenzial der Bilder voll ausschöpfen. Mit Machine Vision von Balluff gelingt das leicht. Denn präzise Kameras lassen sich mit unserer intelligenten Software einfach einrichten und intuitiv bedienen. Ganz ohne Vorkenntnisse.

Besuchen Sie uns auf der SPS, Nürnberg, 26. – 28. November 2019, Halle 7A, Stand 303 oder unter [www.balluff.com](http://www.balluff.com)



# 76

Fachaufsatz: „Mit aktiver Ruckentkopplung zu reduzierten Maschinenschwingungen“ Das Bild zeigt den Kreuztisch-Prüfstand, an dem die Versuche durchgeführt wurden. (Bild: IFW)

## Forschung, Wissenschaft, Innovation

**75** Bücher

### **76** Schwingungstechnik

B. Denkena, B. Bergmann, F. Böhse

Mit aktiver Ruckentkopplung zu reduzierten Maschinenschwingungen \*

**83** Mensch & Technik aktuell

### **84** Toleranzfestlegung

K. Brückner, M. Storch, M. Hallmann, B. Heling, B. Schleich, S. Wartack

Ansatz zur Ermittlung von Toleranz-Kosten-Kurven in der Serienproduktion \*

**90** Forschung & Technologietransfer

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.



Zur Messe SPS bringt Eplan eine kostenlose Cloud-Software zur Generierung von Stromlauf- oder Fluidplänen heraus. Sie richtet sich an Anwender der Eplan Plattform 2.8, die Lust auf erste Gehversuche in der Cloud haben. Voraussetzung zur Nutzung der Software namens „Eplan eBuild“ ist eine Registrierung im Eplan Cloud-System sowie der Einsatz der Version 2.8.

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

## Freie Erfinder werden seltener

In einer aktuellen Analyse hat das Deutsche Patent- und Markenamt (DPMA) die freie Erfinderszene unter die Lupe genommen. Von den mehr als 2800 Anmeldungen der nicht an ein Unternehmen oder eine Institution gebundenen Erfinder ließen sich 2018 gut 40 Prozent dem Maschinenbau zuordnen. Damit ist der Sektor wie bei der Gesamtheit aller Anmeldungen beim DPMA das häufigste Betätigungsfeld. Knapp 14 Prozent kamen aus dem Bereich Instrumente, etwa elf Prozent aus der Elektrotechnik, zehn Prozent aus der Chemie. Jede vierte Patentanmeldung der freien Erfinder ließ sich dem Sektor Sonstige Gebiete zuordnen, in dem unter anderem Möbel, Spiele und sonstige Konsumgüter zusammengefasst sind.

Mit 698 kam fast ein Viertel der Anmeldungen dieser Gruppe aus Bayern. Auf den Plätzen 2 und 3 folgen in der Rangliste der Bundesländer Nordrhein-Westfalen (561) und Baden-Württemberg (555).

Als Anmeldungen freier Erfinder wertet das DPMA Einreichungen, in deren Unterlagen ein und dieselbe Person als Anmelder und Erfinder eingetragen ist. Bei Einreichungen aus der Industrie oder der Wissenschaft ist dagegen in der Regel der jeweilige Arbeitgeber als Anmelder angegeben. In den vergangenen Jahren ist die Zahl der Patentanmeldungen mit Anmelder-Erfinder-Identität immer weiter zurückgegangen. Von 2017 auf 2018 betrug der Rückgang rund acht Prozent.

„Freie Erfinderinnen und Erfinder haben am Markt oft einen schweren Stand, sind aber nach wie vor ein wichtiger Teil unserer Innovationslandschaft“, sagte DPMA-Präsidentin Cornelia Rudloff-Schäffer.

Erfindergeist und Kreativität brauchen wirksamen Schutz. Das DPMA ist das deutsche Kompetenzzentrum für alle Schutzrechte des geistigen Eigentums – für Patente, Gebrauchsmuster, Marken und Designs. Seine 2700 Mitarbeiter an drei Standorten – München, Jena und Berlin – sind Dienstleister für Erfinder und Unternehmen. [www.dpma.de/dpma](http://www.dpma.de/dpma)

## Forschungsverbund entwickelt Sensorsysteme für das autonome Fahren und Fliegen



Das Mobilitätsangebot in Metropolen wird immer vielfältiger. Menschen sind zu Fuß, auf dem Rad oder eBike, in Bussen und Bahnen, mit dem eigenen Auto und künftig auch in autonomen Fahrzeugen unterwegs. Auch für Flugzeuge ergeben sich neue Möglichkeiten: In Ballungsräumen könnten autonome Flugtaxi oder Drohnen für den Transport von Personen oder zeitkritischen Waren und Medikamenten eingesetzt werden. Alle diese Anwendungen erfordern leistungsfähige Sensoren und Steuersysteme, die gleichzeitig so energiesparend wie möglich arbeiten. Genau hier setzt das öffentlich geförderte Projekt „Ocean12“ (Opportunity to Carry European Autonomous driving further with FDSOI technology up to 12nm node) an, in dem europaweit 27 Partner aus den Bereichen Halbleitertechnik, Elektronik, Luftfahrt- und Automobiltechnik zusammenarbeiten. Bosch leitet das aus 14 Organisationen bestehende deutsche Konsortium. Gemeinsam entwickeln die Projektpartner bis Ende 2021 verschiedene, besonders energieeffiziente Komponenten, die die Umgebungsdaten von Fahrzeugen und Flugzeugen erfassen und verarbeiten können. Dazu zählen Umfellsensoren wie etwa Kameras, Lidar- oder Radarsensoren sowie Mikroprozessoren zur Verarbeitung der Daten. Die Elektronik wandelt die erfassten Daten in Steuerbefehle für nachgelagerte Komponenten um. Das können die Bremsen oder die Lenkung beim Auto sein oder auch die Steuerung des Antriebs bei einem Flugtaxi (Bild, Quelle: Bosch).

Wesentliche Basis für die Entwicklung im Projekt Ocean12 ist die sogenannte FD-SOI-Technologie (Fully Depleted Silicon On Insulator) des Ocean12-Projektpartners Globalfoundries. Dahinter steckt ein Fertigungsansatz für Halbleiter, bei dem eine zusätzlich eingebrachte, sehr dünne Isolationsschicht im Chip die sogenannten Leckströme reduziert. Das verringert den Stromverbrauch und führt zu einer höheren Rechengeschwindigkeit. Auf Basis dieser Technologie können die Partner des Forschungsverbundes anschließend Komponenten entwickeln, die maximale Energieeffizienz und hohe Rechenleistung optimal kombinieren. „Ziel des Projektes Ocean12 ist, dass neue Sensorsysteme für zukünftige Mobilitätskonzepte bis zu 90 Prozent weniger verbrauchen als heutige Systeme“, sagt Dr. Tilman Glöckler von Bosch, Koordinator des deutschen Ocean12-Konsortiums. Zudem ermöglicht es die neue Technik, besonders kleine Sensorsysteme zu bauen, weil Sensoren einschließlich leistungsstarker integrierter Auswerteschaltungen auf einem sogenannten SoC (System on Chip) integriert werden. „Für das automatisierte Fahren und Fliegen sind energiesparende Sensorsysteme unabdingbar. Mit dem Projekt Ocean12 kommen wir diesem Ziel mit unserer Kompetenz im Bereich der Mikroelektronik schrittweise näher“, sagt Glöckler.

Das Projekt Ocean12 (Volumen 103,58 Millionen Euro) wird von der Europäischen Union und nationalen Organisationen gefördert. In Deutschland unterstützen das Bundesministerium für Bildung und Forschung und der Freistaat Sachsen. Alle Förderer zusammen stellen im Projektzeitraum zwischen Mitte 2018 und Ende 2021 rund 48 Millionen Euro bereit. Zum deutschen Konsortium zählen neben Airbus, Audi, Bosch und Globalfoundries auch zahlreiche mittelständische Unternehmen sowie Forschungsinstitute und Universitäten. [www.bosch.com](http://www.bosch.com)



## Aus SKF Motion Technologies wurde „Ewellix“

Nach fünfzig Jahren als Teil der SKF-Gruppe wurde SKF Motion Technologies (SMT) im Dezember 2018 durch Triton Partners übernommen. Jetzt vollzogen die Lineartechnikspezialisten den nächsten Schritt auf ihrem Weg und präsentierten ihren neuen Namen und ihren neuen Markenauftritt. Auch mit der neuen Marke bleibt sich das Unternehmen treu und unterstützt seine Kunden mit maßgeschneiderten Lösungen.



Ab sofort firmieren die Lineartechnikspezialisten als „Ewellix“. Das Unternehmen wird sich auch weiterhin auf seine Kernbereiche konzentrieren. Dazu gehören unter anderem die industrielle Automatisierung, die Medizintechnik, die mobilen Anwendungen sowie der kontinuierliche Ausbau mit seinen Vertriebspartnern.

Neben der Weiterentwicklung der Linearkomponenten sollen smarte Sensortechnologien und deren Analyse einen Mehrwert für die Anwender bringen. Stichwort: IoT-Fähigkeit. Die Ewellix-Gruppe unterhält neun Fertigungszentren in Europa, Nordamerika und Asien sowie 16 Vertriebsstandorte weltweit und beschäftigt mehr als 1400 Mitarbeiter. „Damit verfügen wir über ein solides Fundament, auf dem wir aufbauen wollen“, führte Daniel Westberg, CEO von Ewellix, aus (Bild, links). „Da wir uns vom reinen Produktlieferanten zu einem Anbieter von kundenspezifischen Lineartechnik-Lösungen entwickeln möchten, planen wir unsere globale Präsenz noch weiter auszubauen.“ Westberg weiter: „Auch unter unserem neuen Namen fühlen wir uns dieser Tradition verpflichtet. Wir bieten künftig eine einzigartige Kombination aus Ingenieurskunst, Anwendungswissen und Produkttechnologien.“

Swen Wenig, Geschäftsführer von Ewellix Deutschland (Bild, rechts), sagte: „Die Einführung von Ewellix ist der Beginn einer neuen Reise für das Unternehmen. Wir verfügen über eine stolze Tradition, ein sehr starkes Team und ein innovatives Produktsortiment. Als Ewellix sind wir jetzt unabhängiger und flexibler. Darüber hinaus haben wir auf lokaler Ebene mehr Freiraum für Innovationen, neues Denken, neue Geschäftsmodelle und den fokussierten Einsatz unserer Erfahrungen und Ressourcen. So können wir unseren Kunden helfen, immer effektivere Lösungen für die Herausforderungen zu entwickeln, mit denen die Industrie heute und in Zukunft konfrontiert ist.“ [www.ewellix.com](http://www.ewellix.com)

## Antriebsparte von Continental wurde zu Vitesco Technologies und zum eigenständigen Unternehmen

In Regensburg zeigte ein neues Unternehmen Flagge: die ehemalige Division Powertrain von Continental, die nun unter dem Namen „Vitesco Technologies“ firmiert. Das seit Anfang 2019 selbstständige Unternehmen rollte den neuen Markenauftritt an seinen rund 50 Standorten weltweit aus. Ausgangspunkt ist die Unternehmenszentrale in Regensburg. Dort prangt der neue Schriftzug gut sichtbar auf dem Dach des Hauptsitzes in der Siemensstraße.

„Unser Ziel ist eine saubere und nachhaltige Mobilität. Dafür machen wir das Herzstück eines jeden Fahrzeugs – den Antrieb – smart und konsequent elektrisch. Ich freue mich sehr über unseren neuen, dynamischen Markenauftritt. Er unterstreicht unseren klaren Führungsanspruch bei sauberen Antrieben heute und in Zukunft“, sagte Andreas Wolf, Chief Executive Officer (CEO) von Vitesco Technologies.

Mit der Eigenständigkeit von Vitesco Technologies reagierte Continental auf die sich rasch ändernden Anforderungen für Fahrzeugantriebe im von Umwälzungen betroffenen Mobilitätssektor. Vitesco Technologies hat über Jahrzehnte breites, umfassendes Know-how im Antriebsbereich entwickelt. Das Portfolio umfasst dabei Technologien für die 48-Volt-Elektrifizierung, Elektromotoren sowie Leistungselektronik für Hybride und rein batterieelektrische Fahrzeuge. Weiterhin im Kerngeschäft stehen die über Jahrzehnte gewachsenen Kompetenzen: Elektronik, Sensoren und Aktuatoren. Sie sind in allen Zukunftsszenarien des Antriebs unerlässlich. [www.vitesco-technologies.com](http://www.vitesco-technologies.com)

## ZVEI-Fachverband Automation mit neuem Vorsitzenden

Dr. Jan Mrosik (Bild), Chief Operating Officer (COO) Digital Industries bei Siemens, ist zum neuen Vorsitzenden des ZVEI-Fachverbands Automation gewählt worden. Er folgt auf Dr. Gunther Kegel, Vorstandsvorsitzender von Pepperl+Fuchs, der den Fachverband seit 2007 führte. Dr. Kegel bleibt weiterhin im ZVEI aktiv: Als President-Elect soll er im Mai 2020 auf ZVEI-Präsident Michael Ziesemer folgen. „Die Automatisierer im ZVEI sind heute schon Lösungsanbieter für Digitalisierung und Energieeffizienz. Jetzt müssen wir gemeinsam die Zukunftstechnologien Künstliche Intelligenz, Edge und Cloud Computing in den Fokus nehmen, um Industrie 4.0 weiter erfolgreich zu gestalten“, sagte Dr. Mrosik. „Mit unseren Innovationen können wir auch zu mehr Klimaschutz und Ressourcenschonung beitragen.“ Die Automationsmesse SPS werde dies im November in Nürnberg zeigen. Gewählt wurde Dr. Mrosik von den Mitgliedern des Fachverbandvorstands, der sich aus Vertretern der drei Fachbereiche Elektrische Antriebe (EA), Messtechnik und Prozessautomatisierung (M+P) und Schaltgeräte, Schaltanlagen, Industriesteuerungen (SSI) zusammensetzt. Auf den Mitgliederversammlungen Ende September wurden in den drei Fachbereichen Roland Bent (Phoenix Contact) für SSI, Dr. Jörg Hassmann (Siemens) für EA und Nikolaus Krüger (Endress+Hauser) für M+P als Vorsitzende gewählt. [www.zvei.org](http://www.zvei.org)



## IMPRESSUM

Konstruktion  
Zeitschrift für Produktentwicklung und  
Ingenieur-Werkstoffe  
ISSN 0720-5953  
71. Jahrgang (2019)

**Herausgeber · Editor**

Prof. Dr.-Ing. S. Matthiesen, KIT Karlsruhe,  
Prof. Dr.-Ing. S. Wartack, F.A.-Univ. Erlangen-Nürnberg (Sprecher der Herausgeber),  
Prof. Dr.-Ing. D. Zimmer, Univ. Paderborn.

**Beirat · Editorial Board**

Prof. Dr.-Ing. M. Abramovici,  
Prof. Dr.-Ing. J. Gausemeier,  
Prof. Dr.-Ing. K. Stahl (Sprecher des Vorstands WiGeP),  
Dipl.-Ing. P. Köpf,  
Prof. Dr.-Ing. D. Krause,  
Prof. Dr.-Ing. B. Sauer (Vorsitzender VDI-GPP),  
Prof. Dr.-Ing. D. Spath,  
Dipl.-Ing. D. Spindler,  
Dr.-Ing. M. Stark,  
Prof. Dr.-Ing. habil. R. Stelzer,  
Dr.-Ing. R. Vonderschmidt,  
Prof. Dr.-Ing. C. Weber.

**Organ**

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

**Redaktion · Editorial Office**

Dipl.-Ing. Hans Hövelmann (V.i.S.d.P.)  
Tel. (02 11) 61 03-361  
Fax (02 11) 61 03-148  
E-Mail: konstruktion@vdi-fachmedien.de  
E-Mail: hhoelmann@vdi-fachmedien.de  
Redaktionsassistent: Petra Pieres  
Tel. (02 11) 61 03-173  
E-Mail: ppieres@vdi-fachmedien.de

Internet: [www.konstruktion-online.de](http://www.konstruktion-online.de)  
Autorenhinweise: [www.konstruktion-online.de/Hinweise-fuer-Autoren](http://www.konstruktion-online.de/Hinweise-fuer-Autoren)

**Redaktion VDI-GPP · Editorial Office VDI-GPP**

VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung  
Postfach 10 11 39, D-40002 Düsseldorf  
Tel. (02 11) 62 14-239  
Fax (02 11) 62 14-171  
E-Mail: gpp@vdi.de

**Fachteil Ingenieur-Werkstoffe**

Organ der VDI-Gesellschaft Materials Engineering (VDI-GME)  
Redaktion:  
Dipl.-Ing. Annedore Bose-Munde  
Tel. (0361) 78 94 46 95  
E-Mail: [info@bose-munde.de](mailto:info@bose-munde.de)  
Internet und Autorenhinweise: [www.konstruktion-online.de/Hinweise-fuer-Autoren](http://www.konstruktion-online.de/Hinweise-fuer-Autoren)

**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,  
Dr.-Ing. Heinz Voggenreiter

**Verlag**

VDI Fachmedien GmbH & Co. KG  
Unternehmen für Fachinformationen  
VDI-Platz 1, D-40468 Düsseldorf  
Postfach 10 10 22, D-40001 Düsseldorf

Commerzbank AG, Düsseldorf,  
BLZ 300 800 00,  
Kontonummer: 02 121 724 00  
Swift/BIC-Code: DRES DE FF 300, IBAN:  
DE69 3008 0000 0212 1724 00

**Geschäftsführung:** Ken Fouhy, B.Eng.

**Layout:** Laura B. Gründel

**Satz:** Medienpartner Mäurer GmbH,  
D-41836 Hückelhoven

**Druck:** Kliemo Printing, Hütte 53, B-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.

**Vertrieb und Leserservice:**

Leserservice VDI Fachmedien, 65341 Eltville  
Telefon: +49 6123 9238-202  
Telefax: +49 6123 9238-244  
E-Mail: [vdi-fachmedien@vuserice.de](mailto:vdi-fachmedien@vuserice.de)  
Vertriebsleitung: Ulrike Gläse

**Bezugspreise**

11 Ausgaben (davon 1/2, 7/8 und 11/12 als Doppelheft)  
Jahresabonnement: € 453,-  
VDI-Mitglieder: € 407,70 (nur für persönliche Mitglieder)  
Studenten: € 105,- (gegen Studienbescheinigung)  
Preise (Inland inkl. MwSt., Ausland excl. MwSt.) zzgl. Versandkosten  
(Inland: € 14,-, Ausland: € 34,-, Luftpost auf Anfrage)  
Einzelheft: € 49,- inkl. MwSt. zzgl. Versandkosten  
Der Bezugszeitraum beträgt mindestens ein Jahr. Das Abonnement verlängert sich um ein weiteres Jahr, wenn es nicht 6 Wochen vor Ablauf des berechneten Bezugszeitraumes schriftlich gekündigt wird.

**Leitung Media Sales**

Sarah-Madeleine Simon  
E-Mail: [ssimon@vdi-fachmedien.de](mailto:ssimon@vdi-fachmedien.de)  
Tel. (02 11) 61 03-166

**Anzeigen**

Verlagsbüro Günter Forster  
Lena-Christ-Str. 26b, D-82152 Planegg  
Tel. (089) 8 40 41 45  
Fax (089) 8 40 16 88  
Mobil-Telefon (01 73) 3 84 02 22  
E-Mail: [GunterForster@t-online.de](mailto:GunterForster@t-online.de)

Es gilt der Anzeigentarif Nr. 53 vom 1. Januar 2019

**Auslandsvertretungen**

Schweiz/Belgien/Niederlande/Luxemburg:  
Verlagsbüro Günter Forster  
in D-82152 Planegg (Deutschland), siehe oben

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



## Schaeffler: Prof. Gutzmer geht – Nachfolge geregelt



In seiner Sitzung am 1. Oktober hat der Aufsichtsrat der Schaeffler AG den bisherigen Technologievorstand und stellvertretenden Vorstandsvorsitzenden Prof. Dr.-Ing. Peter Gutzmer (65, Bild links) verabschiedet. Nach 18 Jahren verlässt er Schaeffler und verabschiedet sich in den Ruhestand. „Mit seiner Innovationskraft hat Herr Professor Gutzmer unser Unternehmen nachhaltig geprägt. Ich danke ihm im Namen des Aufsichtsrates und der gesamten Schaeffler-Familie für sein leidenschaftliches Engagement“, sagte Georg F. W. Schaeffler, Familiengesellschafter und Aufsichtsratsvorsitzender. Klaus Rosenfeld, Vorsitzender des Vorstands der Schaeffler AG, ergänzte: „Professor Gutzmer hat das Technologiespektrum der Schaeffler Gruppe stetig weiterentwickelt, neue Mobilitätskonzepte gefördert, die Grundlagen für den Aufbau unseres Elektromobilitäts-Geschäftes gelegt und neue Partnerschaften geschaffen. Mit Weitsicht hat er entscheidend dazu beigetragen, die Schaeffler Gruppe erfolgreich für die Zukunft aufzustellen.“

Gutzmer kann auf eine bewegte und überaus erfolgreiche Karriere zurückblicken. Er studierte in Stuttgart Maschinenbau und promovierte in der Fachrichtung Verbrennungsmotoren. Nach sechs Jahren in der Forschung und Führungsaufgaben in der Industrie, u.a. bei Porsche, startete er 2001 seine Karriere bei Schaeffler. Als Nachfolger von Prof. Gutzmer hat der Aufsichtsrat Uwe Wagner (54, Bild rechts), bisher Leiter Forschung und Entwicklung Automotive OEM und Industrie, mit Wirkung zum 1. Oktober 2019 für eine Amtszeit von drei Jahren zum Mitglied des Vorstands bestellt. Er übernimmt das Ressort Forschung und Entwicklung. [www.schaeffler.com](http://www.schaeffler.com)



Veranstaltungen	
6.–7. Nov. Pinneberg	<b>Expertenwissen O-Ringe</b> , Seminar, C. Otto Gehrckens GmbH & Co. KG, Pinneberg, Tel.: 0 41 01 / 50 02-0, E-Mail: info@cog.de, www.cog.de
6.–7. Nov. Stuttgart	<b>Führung und Management in Entwicklung und Konstruktion</b> , Seminar, VDI Fortbildungszentrum Stuttgart GmbH, Hamletstr. 11, Tel.: 07 11 / 1 31 63-0, E-Mail: anmeldung@vdi-suedwest.de, www.vdi-suedwest.de, https://www.vdi-fortbildung.de/
7.–8. Nov. Wuppertal	<b>Kosteneffizient konstruieren und gestalten</b> , Seminar, Technische Akademie Wuppertal, Tel.: 0 91 87 / 9 31-212, E-Mail: anmeldung@taw.de, www.taw.de
12. Nov. Stuttgart	<b>Lastenhefte strukturiert schreiben und gestalten</b> , Seminar, VDI Fortbildungszentrum Stuttgart GmbH, Hamletstr. 11, Tel.: 07 11 / 1 31 63-0, E-Mail: anmeldung@vdi-suedwest.de, www.vdi-suedwest.de, https://www.vdi-fortbildung.de/
12.–13. Nov. Garching	<b>Getriebeauslegung mit der FVA-Workbench</b> , Seminar, Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V., Frankfurt, Tel.: 0 69 / 66 03-17 29, E-Mail: cassandra.john@vdma.org, www.fva-net.de, www.vdma.org
12.–13. Nov. Frankfurt	<b>GfKORR-Jahrestagung „Nachhaltiger Korrosionsschutz mit Zink – Mobilität, Infrastruktur, Innovation“</b> , Seminar, GfKORR Gesellschaft für Korrosionsschutz e.V., Frankfurt, Tel.: 0 69 / 75 64-360, www.gfkorrr.de
13. Nov. Berlin	<b>Druckmesstechnik</b> , Seminar, AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e.V., Berlin, Tel.: 0 30/22 19 03 62-25, E-Mail: info@ama-weiterbildung.de, www.ama-weiterbildung.de
13.–14. Nov. Wiesbaden	<b>Multiphysikalische Simulationen in der Entwicklung von E-Motoren</b> , NAFEMS GmbH, Grafing, E-Mail: info@nafems.de, www.nafems.de
21. Nov. Garching	<b>Flankenbruch</b> , Seminar, Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V., Frankfurt, Tel.: 0 69 / 66 03-17 29, E-Mail: cassandra.john@vdma.org, www.fva-net.de, www.vdma.org
26.–27. Nov. Garching	<b>Dresdner Maschinenelemente Kolloquium DMK 2019</b> , DriveConcepts GmbH, Dresden, Tel.: 01 70 / 85 97 929, E-Mail: tobias.schulze@driveconcepts.com, www.driveconcepts.com
26.–27. Nov. Dresden	<b>Zahnradschäden und deren Einflussgrößen</b> , Seminar, Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V., Frankfurt, Tel.: 0 69 / 66 03-17 29, E-Mail: cassandra.john@vdma.org, www.fva-net.de, www.vdma.org
28.–29. Nov. Wuppertal	<b>Form- und Lagetoleranzen nach GPS-Standards definieren und berechnen</b> , Seminar, Technische Akademie Wuppertal, Tel.: 0 91 87 / 9 31-212, E-Mail: anmeldung@taw.de, www.taw.de
2.–3. Dez. Frankfurt	<b>Hochbeständige metallische Sonderwerkstoffe</b> , Seminar, GfKORR Ges. für Korrosionsschutz e.V., Frankfurt, Tel.: 0 69 / 75 64-360, www.gfkorrr.de
9.–10. Dez. Stuttgart	<b>Von der Funktion zur Toleranz</b> , Seminar, VDI Fortbildungszentrum Stuttgart GmbH, Tel.: 07 11 / 1 31 63-0, E-Mail: anmeldung@vdi-suedwest.de, www.vdi-suedwest.de, https://www.vdi-fortbildung.de/
16.–17. Dez. Stuttgart	<b>Erstellung normgerechter Technischer Zeichnungen</b> , Seminar, VDI Fortbildungszentrum Stuttgart GmbH, Tel.: 07 11 / 1 31 63-0, E-Mail: anmeldung@vdi-suedwest.de, www.vdi-suedwest.de, https://www.vdi-fortbildung.de/
Weitere Tagungen, Seminare und Veranstaltungen des VDI und VDI-Wissensforum finden Sie im Internet unter <a href="http://www.vdi.de">www.vdi.de</a>	
Messen	
19.–22. Nov. Frankfurt	<b>formnext</b> , Mesago Messe Frankfurt, Stuttgart, Tel.: 07 11/6 19 46-0, E-Mail: info@mesago.com, www.mesago.de
26.–28. Nov. Nürnberg	<b>SPS</b> , Mesago Messe Frankfurt, Stuttgart, Tel.: 07 11/6 19 46-0, E-Mail: info@mesago.com, www.mesago.de
<b>2020</b>	
14.–16. Januar Nürnberg	<b>Euroguss</b> , Fachmesse für Druckguss: Technik, Prozesse, Produkte. Nürnberg-Messe, Tel.: 09 11/86 06-0, www.euroguss.de
12.–13. Februar Augsburg	<b>FMB Süd</b> , Zuliefermesse Maschinenbau, Easyfairs GmbH, Bielefeld, Tel.: 05 21/9 65 33-66, E-Mail: service@fmb-messe.de, www.fmb-sued.de
Eine ausführlichere Auflistung von Veranstaltungen finden Sie unter <a href="http://www.konstruktion-online.de">www.konstruktion-online.de</a> → Aktuell → Veranstaltungen	



Besuchen Sie uns  
auf der SPS in  
Halle 9, Stand 460.

## Wir machen Ihre Maschine sicher

### Der neue RFID-Sicherheitssensor EX-RSS16

- Bewährte Bauform – jetzt auch für explosionsgefährdete Bereiche
- Kategorie 3D und 3G
- Ex tc (Staub), Ex ec (Gas)
- RFID-Sicherheitssensor mit höchstem Manipulationsschutz gem. ISO 14119
- Geeignet für Anwendungen bis Kat. 4 / PL e / SIL 3

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



## EOS mit neuer Geschäftsführung



EOS, eines der ersten und weltweit führenden Unternehmen im Bereich industrieller 3D-Druck von Metallen und Polymeren, stellt seine Geschäftsführung neu auf. Damit unterstreicht die Inhaberfamilie ihr langfristiges Engagement und stellt gleichzeitig die Weichen dafür, das Unternehmen in einem hochdynamischen und sich stetig verändernden Marktumfeld zu positionieren.

Marie Langer (Bild), Tochter des Gründers Dr. Hans J. Langer, wurde neue Vorsitzende der Geschäftsführung (CEO) der EOS GmbH und ist als solche verantwortlich für die strategische Ausrichtung des Unternehmens. Sie wird sich auf die Themen Strategie, Marketing, Unternehmenskommunikation als auch auf Unternehmenskultur, Organisations- und Mitarbeiterentwicklung fokussieren. Marie Langer zu ihrer neuen Position bei EOS: „Persönliches Engagement auf allen Ebenen und unsere gemeinsame Kultur haben uns in den letzten 30 Jahren zu dem erfolgreichen Unternehmen gemacht, das wir heute sind. Gleichzeitig vereinen wir den Pioniergeist der Anfangsjahre mit der Expertise eines Marktführers.“ Als Geschäftsführer verantwortet Dr. Adrian Keppler weiterhin die Entwicklung strategischer Kunden- und Partnerbeziehungen. Darüber hinaus wird er die enge Zusammen-

arbeit innerhalb der EOS-Tochterunternehmen und mit dem „EOS Ecosystem“ gestalten. Eric Paffrath leitet in seiner Funktion als Geschäftsführer der EOS GmbH weiterhin die Bereiche Finanzen, Business Administration, Information Technology und weitere kaufmännische Themenbereiche. Der bisherige CTO Dr. Tobias Abeln und der bisherige CCOO Bertrand Humel von der Lee verlassen das Unternehmen im gegenseitigen Einvernehmen. Ausgerichtet an den Bedürfnissen seiner Kunden hat EOS im Oktober eine produktlinienorientiertere Struktur eingeführt, die aus drei zentralen Divisionen besteht: Metallsysteme, Polymersysteme und Materialien, Software und Innovation. So werden Synergien erhöht, Entscheidungsprozesse beschleunigt und eine durchgängige Betreuung des gesamten Produktlebenszyklus sichergestellt. [www.eos.info](http://www.eos.info)

## Deutsche Unternehmen beim 3D-Druck nicht mehr führend

Deutsche Unternehmen haben beim 3D-Druck ihre Vorreiterrolle eingebüßt. Zwar nutzen bereits 63 Prozent der Unternehmen hierzulande 3D-Druck – eine deutliche Steigerung zur vorangegangenen Befragung 2016, bei der lediglich 37 Prozent 3D-Druck nutzten. Allerdings reichte dieser Anteil 2016 noch aus, um unter den Industrienationen eine führende Rolle einzunehmen – insgesamt setzten zu dem Zeitpunkt im Durchschnitt nur 24 Prozent auf 3D-Druck.

Das sieht heute anders aus: Viele andere Industrienationen haben Deutschland überholt. Im Durchschnitt wenden bereits 65 Prozent der Unternehmen weltweit 3D-Druck-Technologien an. Führend sind die asiatischen Länder Südkorea und China, wo 81 Prozent beziehungsweise 78 Prozent der Unternehmen bereits auf 3D-Druck setzen. Aber auch kanadische Unternehmen sind mit 77 Prozent schon deutlich weiter. Damit partizipieren zunehmend andere Nationen am weltweiten Gesamtmarkt, der in den vergangenen Jahren kontinuierlich gewachsen ist – allein von 2016 auf 2018 um 58 Prozent auf neun Milliarden US-Dollar. Für das Geschäftsjahr 2019 wird mit einem erneuten Anstieg um 24 Prozent auf 11,2 Milliarden US-Dollar gerechnet.

Das sind Ergebnisse einer aktuellen Studie der Prüfungs- und Beratungsgesellschaft EY (Ernst & Young), für die 900 Unternehmen in ausgewählten Ländern befragt wurden, davon 222 in Deutschland.

Stefana Karevska, globale Leiterin 3D-Druck bei EY: „3D-Druck ist in Asien derzeit sehr stark im Kommen. Gerade in China wird additive Fertigung als eine der klaren Prioritäten in der wirtschaftspolitischen Strategie auf Landesebene festgelegt. Eine ähnlich umfassende Förderung von 3D-Druck gibt es hierzulande nicht. In Deutschland wird noch viel getestet – in die Anwendung für Endprodukte sind die hiesigen Unternehmen noch nicht so stark eingestiegen wie beispielsweise die asiatischen. Das liegt teilweise auch an einer generellen Skepsis und Zurückhaltung in Deutschland, was neue Technologien angeht.“

Additive Fertigung bringt aus Sicht der Unternehmen deutliche Vorteile: Zuvorderst nennen die weltweit befragten Unternehmen besser auf die Kundenanforderungen abgestimmte Produkte (43 Prozent), effizientere Forschung und Entwicklung durch eine schnellere Prototypenfertigung (38 Prozent) sowie einen effizienteren Ersatzteilemarkt (33 Prozent).

Die größte Entwicklung sehen sie aber in der Logistik und in der Produktherstellung. Während aktuell nur 26 Prozent der Unternehmen Vorteile bei der Reduzierung von Transport und Lagerbeständen sehen, glauben 56 Prozent, dass sie in diesem Bereich in drei Jahren profitieren werden. Niedrigere Produktionskosten nennen derzeit nur 17 Prozent als Vorteil – in drei Jahren erwarten bereits 53 Prozent Kosteneinsparungen.

Trotz der erwarteten Vorteile scheitert die Einführung von 3D-Druck vielfach noch am Geld. 90 Prozent der Unternehmen geben an, dass die Materialkosten für 3D-Druck zu hoch sind, 87 Prozent nennen hohe Kosten für die Anschaffung der Systeme. Aber auch mangelnde Fachkenntnisse im Haus über das Design (50 Prozent) oder die Produktionsprozesse (46 Prozent) bremsen die Einführung oft aus. Gerade in Branchen, in denen die Kundennachfrage nach individualisierten Produkten hoch ist – wie in der Luftfahrt und bei Konsumgütern – bietet 3D-Druck ganz neue Möglichkeiten, betont Karevska: „Die Produktion rückt viel näher an den Kunden heran, die Firmen sparen Transport- und Lagerkosten und erlangen einen Wettbewerbsvorteil durch individuelle Designs. Dadurch wird die Technologie zunehmend attraktiver. Branchen wie der Maschinenbau und die Chemieindustrie können darüber ihre Materialien und Systeme weiterentwickeln und letztlich ihr Angebot verbessern und vielfältiger gestalten. Das wird sich für die Firmen auch positiv bei den Kosten auswirken.“ [https://www.ey.com/de\\_de](https://www.ey.com/de_de)



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

powered by VDI Verlag

# Starten Sie durch – auf INGENIEUR.de!

**Das TechnikKarriereNews-Portal für  
Ingenieure und IT-Ingenieure.**

Was immer Sie für Ihre Karriere brauchen – Sie finden es auf ingenieur.de:  
Auf Sie zugeschnittene Infos und Services, Stellenangebote in der Jobbörse, Firmenprofile, Fachartikel,  
Gehaltstest, Bewerbungstipps, Newsletter und alles zu den VDI nachrichten Recruiting Tagen.



## Zirkuläre Wertschöpfung im Fokus des VDI



Zirkuläre Wertschöpfung – das Fokusthema des VDI. (Bild: VDI e.V.)

Die zirkuläre Wertschöpfung wird in vielen Veröffentlichungen als ein wirtschaftliches System beschrieben, das nach Intention und Design restaurativ und regenerativ ist sowie positive gesamtgesellschaftliche Vorteile erzeugt. Geschlossene Wertschöpfungskreisläufe ersetzen das Konzept des „End-of-Life“ bestehender linearer Wertschöpfungsketten. Im Rahmen der zirkulären Wertschöpfung sollen durch sorgfältiges Design, Management und technologische Innovation Produkte auf ihren höchsten Nutzen und Wert gebracht werden. Das übergeordnete Ziel ist, effektive Stoff-, Energie-, Arbeits- und Informationsflüsse zu ermöglichen. Konkret bedeutet dies:

- Nutzung erneuerbarer Energien,
- Eliminierung giftiger Chemikalien, welche die Wiederverwendung der Wertstoffe beeinträchtigen und
- Vermeidung von Abfällen durch eine entsprechende Gestaltung von Materialien, Produkten, Systemen und Geschäftsmodellen.

Die Einführung einer zirkulären Wertschöpfung wird das Wirtschaftswachstum schrittweise vom Verbrauch endlicher Ressourcen entkoppelt. Die EU ist davon überzeugt, dass der Übergang zu einer zirkulären Wirtschaft einen wesentlichen Beitrag zu den Bemühungen um die Entwicklung einer nachhaltigen, CO<sub>2</sub>-armen, ressourceneffizienten und wettbewerbsfähigen Wirtschaft leisten wird. Studien rechnen aus, dass der technologische Umbruch hin zu einer zirkulären Wertschöpfung die Ressourcenproduktivität um bis zu drei Prozent jährlich steigern kann. Bis 2030 würde sie für die europäischen Volkswirtschaften zusammen um bis zu 0,6 Billionen Euro pro Jahr anwachsen. Weitere finanzielle Vorteile von 1,2 Billionen Euro addieren sich zu einem jährlichen Gewinn von rund 1,8 Billionen Euro.

Die zirkuläre Wertschöpfung wird in vielen Veröffentlichungen als ein wirtschaftliches System beschrieben, das nach Intention und Design restaurativ und regenerativ ist sowie positive gesamtgesellschaftliche Vorteile erzeugt. Geschlossene Wertschöpfungskreisläufe ersetzen das Konzept des „End-of-Life“ bestehender linearer Wertschöpfungsketten. Im Rahmen der zirkulären Wertschöpfung sollen durch sorgfältiges Design, Management und technologische Innovation Produkte auf ihren höchsten Nutzen und Wert gebracht werden. Das übergeordnete Ziel ist, effektive Stoff-, Energie-, Arbeits- und Informationsflüsse zu ermöglichen. Konkret bedeutet dies:

Das BIP steigt demzufolge um bis zu sieben Prozentpunkte gegenüber dem aktuellen Entwicklungsszenario an, mit positiven Auswirkungen auf die Beschäftigung.

In diesem Kontext hat der VDI die folgenden Thesen und Handlungsfelder formuliert:

- Die rohstoffliche Verwertung durch Rückführung der Kunststoffe in den molekularen Zustand (Kunststoffverflüssigung) muss dringend weiter erforscht und entwickelt werden, damit die Technologie schnellstens industriell zum Einsatz kommen kann.
- Wir benötigen nicht nur ein Umdenken im Umgang mit verbrauchten Produkten, sondern auch bereits frühzeitig in der Produktentwicklung. Produkte müssen so konzipiert sein, dass sie sowohl den Anforderungen des Gebrauchs wie auch der späteren Verwertung gerecht werden.
- Ein Technologietransfer aus Deutschland zur Kunststoffabfallwirtschaft in Schwellenländer ist unumgänglich, um die globalen Probleme für Klima und Umwelt zu lösen.

Zum Fokusthema plant der VDI in den nächsten Monaten Experten-Workshops, Dialoge mit Politik und der Gesellschaft, Richtlinien, Wissenstransfer zu Sortier- und Recyclingtechnologien in Fachtagungen und Kongressen sowie aufbereitete Informationen für die Medien.

Weitere Informationen unter [www.vdi.de/zirkulaere-wertschoepfung](http://www.vdi.de/zirkulaere-wertschoepfung).

## VDI 4521 Erfinderisches Problemlösen mit TRIZ

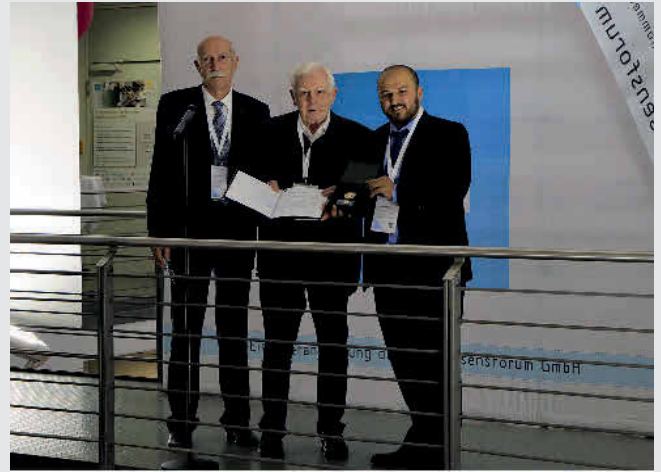
Die Theorie des erfinderischen Problemlösens, TRIZ, ist eine Systematik von Annahmen, Regeln, Methoden und Werkzeugen zur innovativen Systemgestaltung von Produkten, Prozessen, Dienstleistungen oder Organisationen. TRIZ beinhaltet darüber hinaus eine Theorie der Problemlösung und der Innovation, unabhängig von bestimmten Feldern der Technik. Die Methodik lässt sich deswegen nutzbringend in vielen Fällen anwenden. Bedingung ist, dass sich das Problem beschreiben lässt.

Die Richtlinienreihe VDI 4521 wird nun durch Blatt 3 komplettiert. Der im September erschienene Entwurf behandelt Methoden und Werkzeuge, die schwerpunktmäßig in der Phase der Lösungssuche verwendet werden. Beschrieben

werden Methoden und Werkzeuge zur Systemanalyse und direkten Lösungsfindung (Stoff-Feld-Analyse), Systemoptimierung (Trimmen), zur Prozessverbesserung, zur Prognose künftiger Systemkonfigurationen (Systemoperator und Evolution technischer Systeme) sowie zur Identifikation möglicher Fehler (Antizipierende Fehlererkennung), die anschließend ausgeschlossen oder beispielsweise in einer FMEA behandelt werden können. Blatt 3 baut auf Blatt 1 auf, das grundlegende Konzepte und Begriffe darstellt, Blatt 2 beschreibt Werkzeuge, die primär in der analytischen Phase des Problemlösungsprozesses eingesetzt werden. Eine Kommentierung ist bis zum 29.02.2020 möglich.

## Fritz-Kesselring-Ehrenmedaille an Professor Dr.-Ing. habil. Heinz Linke vergeben

Die VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (GPP) hat Herrn Prof. Heinz Linke für seine langjährigen Aktivitäten im VDI die Fritz-Kesselring-Ehrenmedaille verliehen. Die höchste Auszeichnung der GPP wird für besonders verdiente Mitglieder und ehrenamtlich Tätige vergeben. Die International Conference on Gears 2019 an der Technischen Universität München in Garching bei München wurde hierfür zum Anlass genommen. Am Abend des zweiten Veranstaltungstags hielt Herr Prof. Bernd-Robert Höhn eine Laudatio aus der einige Stationen des Geehrten beim VDI hervorgingen: Neben seiner langjährigen Mitgliedschaft im Fachbeirat Getriebe und Maschinenelemente hatte Heinz Linke den Vorsitz mehrerer Fachausschüsse innegehabt. Auch war er als Vorsitzender und Mitglied des Programmausschusses der Veranstaltungen „International Conference on Gears“, „Planetengetriebe“ und „Welle-Naben-Verbindungen“ aktiv. Die GPP dankt Prof. Heinz Linke für seine zahlreichen Aktivitäten und wünscht ihm Gesundheit und Freude für seinen weiteren Lebensweg.



Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz Linke (Mitte) mit dem Laudator Prof. Dr.-Ing. Bernd-Robert Höhn (links) und M.Sc. Mehmet Bozkurt (VDI-GPP, rechts im Bild). (Bild: VDI-GPP)

## Funktionale Sicherheit in der Prozessindustrie

Bei der Verhinderung von sicherheitsrelevanten Ereignissen, und insbesondere von Störfällen, nimmt die Bedeutung der Prozessleittechnik (PLT) seit Jahren zu. Die Richtlinienreihe VDI/VDE 2180, die sich eingehend mit dem Thema beschäftigt, wurde grundlegend überarbeitet und neu strukturiert. Die neue Reihe besteht aus drei Blättern, die sich mit

Einführung, Begriffen und Konzeption (Blatt 1), Planung, Errichtung und Betrieb von PLT-Sicherheitsfunktionen (Blatt 2) und dem Nachweis der Ausfallwahrscheinlichkeit im Anforderungsfall (PFD) (Blatt 3) befassen. Blatt 2 und 3 sind im September als Weißdruck erschienen.

Inhalt der neuen Richtlinie VDI/VDE 2180 Blatt 2 ist die

Planung, der Bau und das Betreiben von PLT-Sicherheitsfunktionen zum Schutz von chemischen Anlagen. Anwender erhalten Hinweise zur Aufstellung eines funktionalen Sicherheitskonzepts und dessen Organisation. Die Richtlinie gibt auch detaillierte Informationen zu Entwurf und Planung und zeigt Anforderungen an die Sensorik, die Prozessanalysegeräte, die Aktorik und das

Logiksystem. Das dritte Blatt der Richtlinie beschreibt den Nachweis eines vorgegebenen Sicherheitsintegritätslevels für eine geplante oder bereits vorhandene technische Realisierung einer PLT-Sicherheitsfunktion. Dabei werden sowohl die strukturellen Anforderungen als auch die Berechnung von Ausfallwahrscheinlichkeiten von PLT-Sicherheitsfunktionen beschrieben.

Herausgeber der genannten VDI-Richtlinien ist die VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung bzw. die VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA). Die Richtlinien sind beim Beuth Verlag (Tel.: 030 / 26 01-22 60) erhältlich. Weitere Informationen und die Möglichkeit zur Onlinebestellung finden Sie unter [www.beuth.de](http://www.beuth.de). VDI-Mitglieder erhalten 10 % Preisvorteil auf alle VDI-Richtlinien. VDI-Richtlinien können in vielen öffentlichen Auslegestellen (<https://www.vdi.de/technik/richtlinien/auslegestellen/>) kostenfrei eingesehen werden. Für die Entwürfe besteht die Möglichkeit zur Mitgestaltung durch Stellungnahmen unter Nutzung des elektronischen Einspruchsportals ([www.vdi.de/einspruchsportal](http://www.vdi.de/einspruchsportal)) oder durch schriftliche Mitteilung an die herausgebende Gesellschaft ([gpp@vdi.de](mailto:gpp@vdi.de)).

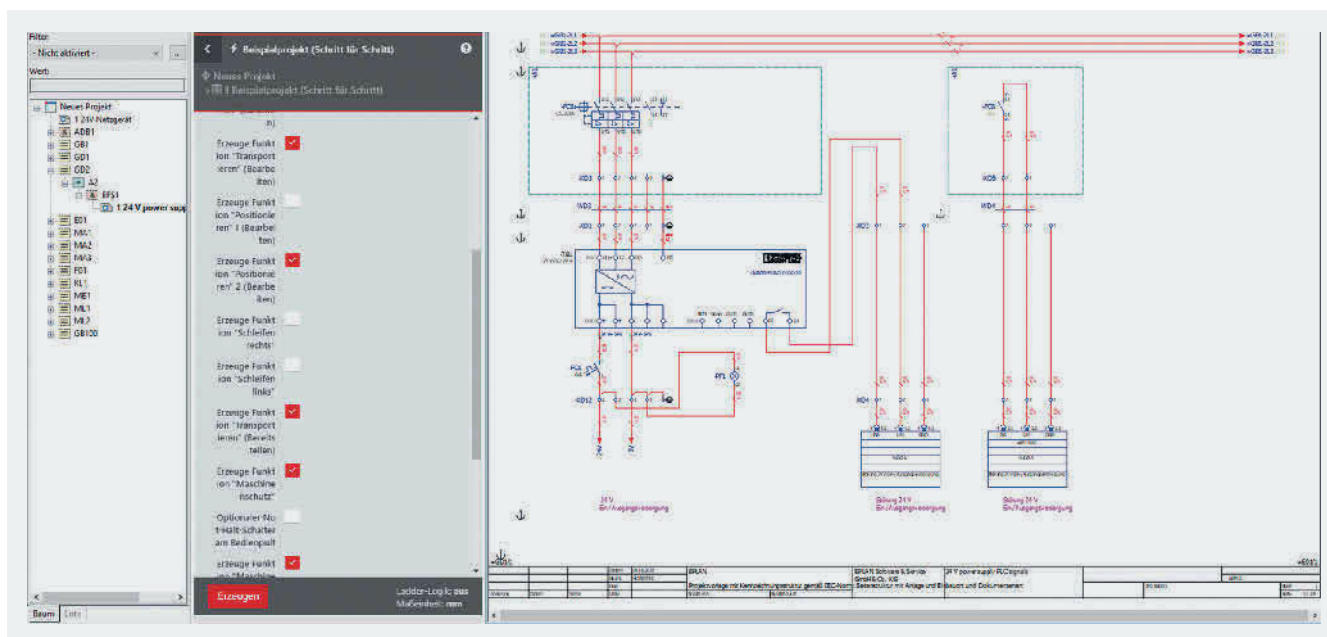


Bild 1 Konfigurieren einfach gemacht – hier am Beispiel einer Schleifmaschine in Form einer vollständigen Maschinenkonfiguration. (Bild: Eplan)

Software zum einfachen und automatisierten Erstellen von Stromlauf- oder Fluidplänen

# Cloudbasiert zum Schaltplan

Zur Messe SPS bringt Eplan eine kostenlose Cloud-Software zur Generierung erster Stromlauf- oder Fluidpläne heraus. Sie richtet sich an Anwender der Eplan Plattform 2.8, die Lust auf erste Gehversuche in der Cloud haben. Voraussetzung zur Nutzung der Software namens „Eplan eBuild“ ist eine Registrierung im Eplan Cloud-System sowie der Einsatz der Version 2.8.

**E**plan eBuild“ ist der Name des Newcomers, der im Rahmen des Cloud-Spektrums „Eplan ePulse“ neue Spielräume im Engineering eröffnet. Mit Recht lässt die kostenlose Software die Anwender aufhorchen. Schließlich ist die Arbeitsweise entsprechend der Nutzung in der Cloud durch und durch auf Einfachheit getrimmt. Anwender, die mit der Eplan Plattform arbeiten, dürfen sich auf einen leichten Einstieg freuen, der kein Training oder eine umfassende Einar-

beitung verlangt. Einfach in Eplan ePulse registrieren, danach Projekt öffnen, Aufgabenstellung auswählen und per Knopfdruck konfiguriert die Software erste Schaltpläne auf Basis von Eplan Electric P8 oder Fluidpläne auf Basis von Eplan Fluid.

Schnell und einfach loslegen ist hier die Devise, die Hauke Niehus, Vice President Cloud Business, auf den Punkt bringt: „Mit Eplan eBuild erhalten unsere Kunden ein einfaches und zugleich wirkungsvolles Tool, das eine erste Projektierung über die Cloud ermöglicht.

Damit können sie über hinterlegte Makrobibliotheken automatisch Schaltpläne für Standardschaltungen generieren. Das erspart viel Zeichenarbeit und Zeit bei der Projektierung von Automatisierungssystemen.“

## Elektro- und Fluidschaltpläne generieren

Auf Basis von Makrobibliotheken, die in der Eplan ePulse-Umgebung hinterlegt sind, können Anwender schnell und komfortabel Elektro- und Fluidschaltplä-



ne generieren. Ohne Initialaufwand sofort produktiv sein und die Vorteile der automatischen Schaltplanerstellung erfahren – das ist der Praxisvorteil, den der Anbieter seinen Anwendern kostenlos in der Cloud-Umgebung bereitstellt. Wichtig: Eplan ist im Gespräch mit zahlreichen Komponentenherstellern, um kontinuierlich die Palette an Bibliotheken zu erweitern. Ziel ist hier eine möglichst umfassende Verfügbarkeit von Konfiguratoren zu erreichen für ein positives Benutzererlebnis auf ePulse. Dass diese Daten aktuell sind, wird durch die Bereitstellung in der Cloud enorm vereinfacht. Sind Ände-



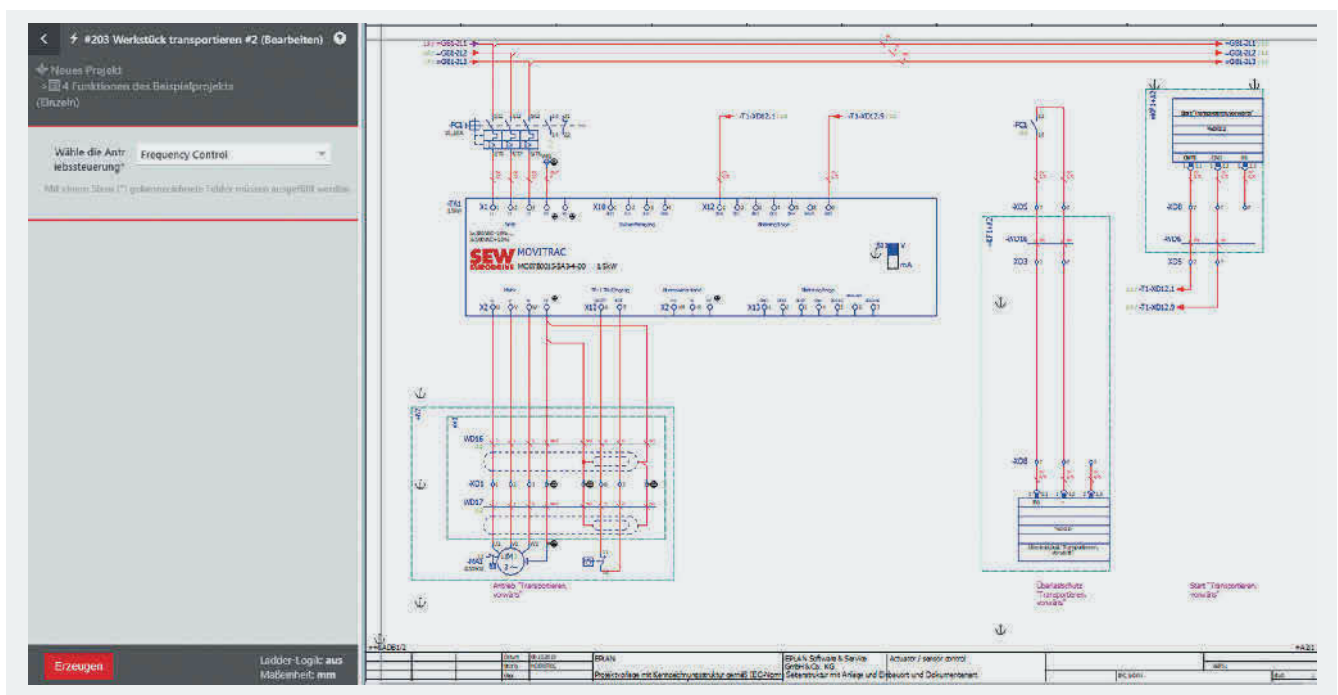
**Bild 2** „Mit ‚Eplan eBuild‘ erhalten unsere Kunden ein einfaches und zugleich wirkungsvolles Tool, das eine erste Projektierung über die Cloud ermöglicht“, erklärt Hauke Niehus, Vice President Cloud Software. (Bild: Eplan)

## CLOUD-STRATEGIE UNTER EPLAN EPULSE

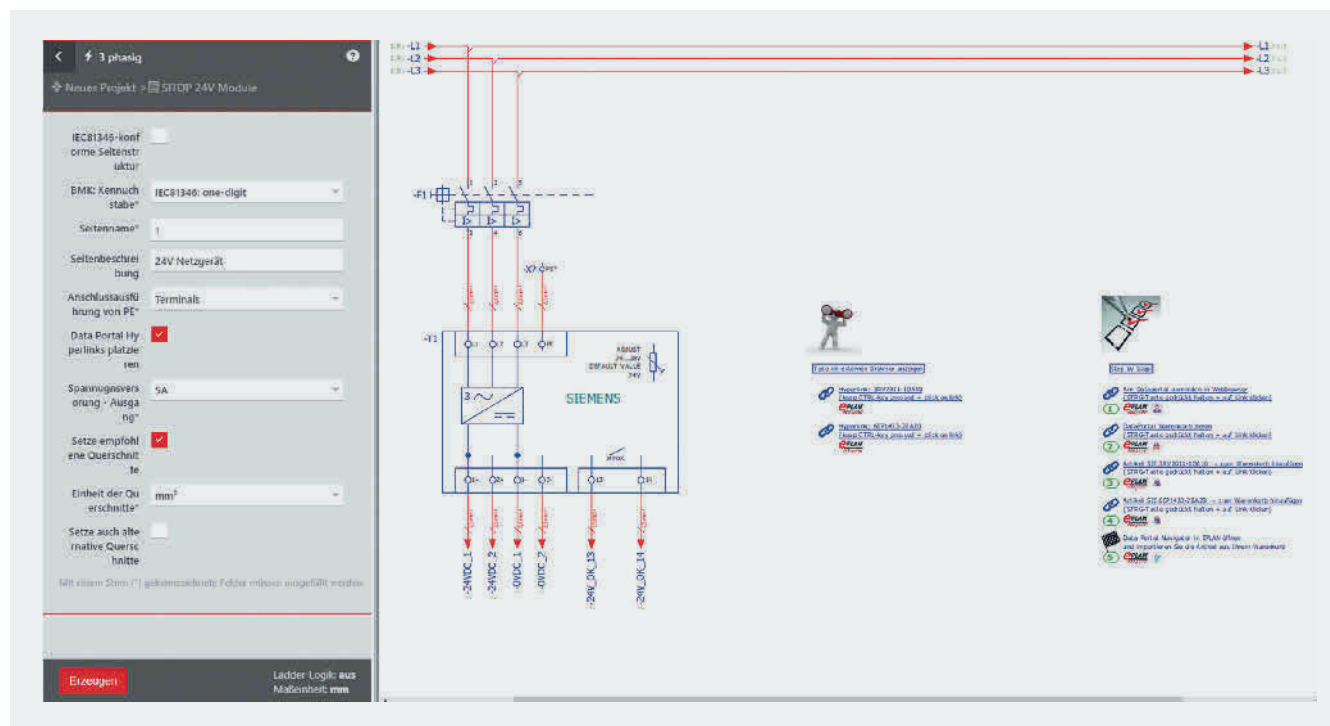


Mit der Eplan Plattform lassen sich die in den verwendeten Applikationen erzeugten Daten per Mausklick in die Cloud transferieren. (Bild: Eplan)

Eplan bietet bereits seit geraumer Zeit cloudbasierte Lösungen an. Das Eplan Data Portal ist weltweit etabliert als Hersteller-Bibliothek zum Download von Gerätedaten. Seit Anfang des Jahres erweitert Eplan eView das Spektrum der Lösungen, mit dem ECAD-Projekte gesichtet, geprüft und per Redlining-Workflow kommentiert werden können. Unter dem Dach von Eplan ePulse wird der begonnene Kurs der agilen Cloud-Entwicklung nun im Diskurs mit Kunden und Partnern konsequent fortgesetzt. Eplan ePulse bildet die Basis für ein komplettes Netzwerk an cloudbasierten Angeboten, das Daten und Projekte, Disziplinen sowie Ingenieure weltweit zusammenbringt. Nutzer erhalten über ihren Internetbrowser Zugriff auf Applikationen, welche die bestehende Produktwelt der Eplan Plattform um weiterführende Funktionen entlang der datenbasierten Wertschöpfungskette ergänzen. Dabei ist geplant, dass Eplan ePulse für diverse Dateiformate und Schnittstellen zu Systemen anderer Anbieter offen gestaltet ist. Interessierte können sich hier auf Eplan ePulse kostenlos registrieren: <https://www.epulse.cloud/>



**Bild 3** Auch Einzelfunktionen wie beispielsweise „Transportieren“ lassen sich aus der Konfiguration erzeugen. (Bild: Eplan)



**Bild 4** Teilfunktionen wie hier am Beispiel eines 24-V-Netzgerätes lassen sich mit Eplan eBuild einfach konfigurieren. (Bild: Eplan)

ungen erforderlich, werden diese an die User per Cloudzugriff weitergereicht.

## Logik inklusive

Das Besondere an Eplan eBuild ist, dass nicht Daten einzelner Artikel oder Komponenten bereitgestellt werden, sondern Makros ganzer Schalt- und Fluidpläne inklusive der entsprechenden Logik und Varianz hinterlegt sind. Das beschleunigt den Prozess der Projektierung stark und macht in smarter Bedienbarkeit einfach mehr Spaß. User können sich damit in Zukunft mehr auf ihre Kernaufgaben konzentrieren und die bisherige Methodik „Copy und Paste“ gehört der Vergangenheit an. Dass die Qualität der Dokumentation mit bereits geprüften Schaltungsvorlagen steigt, ist ein weiterer Vorteil, den Eplan eins-zu-eins an seine Kunden weitergibt. Die Bibliotheken werden sukzessive erweitert und zur SPS ist ein erstes Startpaket in den Sprachen Deutsch und Englisch verfügbar. Die Software selbst wird bereits im November in 19 Sprachen bereitgestellt.

## Einsatz in jeder Branche

Das neue kostenfreie Angebot Eplan eBuild richtet sich an Anwender der Version 2.8 von Eplan Electric P8 (Elektrotechnik) und Eplan Fluid (Fluidtechnik) sowie an Planer im Bereich Gebäudeautomatisierung. User können sowohl Pro-

## STUDIE ENGINEERING 4.0

Welche Potenziale bietet eine Digitalisierung der Konstruktion und steuerungstechnischen Auslegung von Maschinen und Anlagen? Dieser Frage ist die Studie Engineering 4.0 nachgegangen. Der 38-seitige Forschungsbericht mit dem Titel „Engineering 4.0“ fußt auf einer achtmonatigen Felduntersuchung bei deutschen Maschinenbauern im Serien- und Sondermaschinenbau, bei Ingenieurbüros/Hardwareplanern und Geräteherstellern. Der Einsatz von CAE-Software als Grundvoraussetzung für Engineering 4.0 wird beleuchtet – ebenso die Chancen, die sich durch Standardisierung und Automatisierung bieten. Das Ergebnis sind deutliche Zeit- und Kosteneinsparpotenziale. Interessierte können die Studie hier kostenlos anfordern: [www.eplan.de/engineering4.0](http://www.eplan.de/engineering4.0)



**Studie Engineering 4.0:** Die Studie „Engineering 4.0“, exklusiv bei Eplan erhältlich, zeigt interessante Effizienzhandlungsfelder im Engineering auf. Der Weg zu höherer Effizienz in der Wertschöpfungskette ist von klassischer Methodik über Standardisierung bis hin zur Automatisierung vorgezeichnet. (Bild: Eplan)

jekte der Neuplanung als auch Instandhaltungsthemen mit diesem Software-Werkzeug durchführen. Der Einsatz ist universell, branchenunabhängig und wird selbstverständlich international unterstützt. Stellt sich die Frage: Wie funktioniert das? Ganz einfach: Die erstellten Schaltpläne entstehen direkt innerhalb eines Eplan-Projektes. Anwender haben damit direkten Zugriff auf die mit Eplan eBuild generierten Schaltpläne. ■



**Birgit Hagelschuer**  
Pressesprecherin, Eplan

Kontakt:  
Eplan Software & Service  
GmbH & Co. KG  
An der alten Ziegelei 2  
40789 Monheim am Rhein  
Tel.: 0 21 73 / 39 64-0  
E-Mail: [info@eplan.de](mailto:info@eplan.de)  
<https://www.eplan.de/ebuild>



## Messe SPS: Die Branche trifft sich in Nürnberg

Trotz angespannter Konjunkturlage ist der Erfolgskurs der SPS auch zur 30sten Veranstaltung ungebrochen. Die Buchungszahlen bestätigen die Bedeutung der Fachmesse für die smarte und digitale Automatisierung. Rund 1650 Anbieter von Automatisierungstechnik aus aller Welt werden vom 26. bis 28. November 2019 als Aussteller in Nürnberg erwartet (Bild, Quelle: Mesago/ Mathias Kutt). Aktuelle Produkte und Lösungen der industriellen Automation, aber auch richtungsweisende Technologien der Zukunft stehen im Fokus der Leistungsschau.

Besucher der Messe profitieren von dem umfassenden Angebot der Automatisierungs- und Digitalisierungsanbieter und können sich einen kompletten Marktüberblick verschaffen. Der Anteil internationaler Besucher lag im vergangenen Jahr bei 27,6 % (18 154 Besucher). 47 546 Besucher der Vorjahresveranstaltung stammten aus Deutschland.

Die Digitalisierung hat einen enormen Einfluss auf die Automatisierungsbranche. Zahlreiche Aussteller zeigen daher vor Ort ihre Lösungsansätze, aber auch diverse Produkte und Applikationsbeispiele zur Digitalen Transformation. Auch IT-Anbieter sind vermehrt auf der SPS vertreten. Der Charme hierbei ist: IT-Themen werden sehr stark und fokussiert im Verbund mit den Automatisierern dargeboten. Präsentationen der Themen wie Big Data, Cloud-Technologie, 5G und Künstliche Intelligenz erfolgen oft praxisbezogen in Gemeinschaftsaktionen und -demos zusammen mit Automatisierungsanbietern. Themenbezogene Sonderschaulflächen und Vorträge auf den Messeforen tun ihr Übriges zur Darstellung der digitalen Transformation in der fertigenden Industrie. Im Rahmen von Guided Tours wird auch in diesem Jahr Besuchern die Gelegenheit gegeben, in geführten Touren innovative Aussteller zu einzelnen Themen zu besuchen. So können sich die Teilnehmer einen kompakten Überblick zu den Themen Machine Learning und KI, Produkt- und Maschinensimulation, Industrial Security in der Fertigung, Cloud Ecosysteme und Predictive Maintenance verschaffen. Der Fokus der Touren liegt dabei auf echten Anwendungen.

Seit diesem Jahr trägt die ehemalige „SPS IPC Drives“ einen neuen Namen: „SPS“ („Smart Production Solutions“). Der Name der Fachmesse hat sich geändert, das bewährte Konzept und die inhaltliche Ausrichtung bleiben bestehen. Der Veranstalter Mesago Messe Frankfurt GmbH trägt der digitalen Transformation der Industrie Rechnung und verspricht weiterhin Relevanz, Kompetenz und einen Austausch auf Augenhöhe. [www.sps-messe.de](http://www.sps-messe.de)

Nürnberg, Germany  
14.–16.1.2020



# EUROGUSS 2020

Internationale Fachmesse für Druckguss:  
Technik, Prozesse, Produkte

## IDEEN FORMEN ZUKUNFT

Besuchen Sie Europas  
führende Fachmesse!

[euroguss.de](http://euroguss.de)

### Ideelle Träger

VDD Verband Deutscher  
Druckgießereien, Düsseldorf  
CEMAFON, Frankfurt am Main

### Wir informieren Sie gern!

NürnbergMesse GmbH  
T +49 9 11 86 06-49 16  
[besucherservice@nuernbergmesse.de](mailto:besucherservice@nuernbergmesse.de)

NÜRNBERG MESSE



Bosch Rexroth setzt auf moderne Automatisierungsplattform mit neuer Hard- und Software

# Steuerung mit völlig offener Softwarearchitektur

Mit seiner neuen Automatisierungsplattform „ctrlX Automation“ hebt Bosch Rexroth die klassischen Grenzen zwischen Maschinensteuerungen, IT und dem Internet der Dinge auf. Die skalierbare Plattform ermöglicht die flexible Gestaltung von zentralen und dezentralen Automatisierungstopologien. Mit einem Linux-Echtzeit-Betriebssystem, offenen Standards, App-Technologie für die Programmierung, einem webbasierten Engineering und umfassender IoT-Anbindung reduziert die Automatisierungsplattform den Engineeringaufwand.

Der komplett neu entwickelte Hard- und Software-Baukasten wird durchgängig alle Automatisierungsaufgaben von einfachen Steuerungsanwendungen über IoT-Lösungen bis hin zur Motion Control abdecken.

**M**aschinenbau bedeutet heute Software-Entwicklung. Steffen Winkler, Vertriebsleitung der Business Unit Automation and Electrification Solutions bei der Bosch Rexroth AG: „Mehr als die Hälfte der Wertschöpfung im Maschinenbau besteht mittlerweile aus Softwareentwicklung. Die Software ist für Maschinenhersteller ein kostbares geistiges Eigentum, denn hier manifestiert sich ihr Know-how, damit erreichen sie maximale Produktivität ihrer Maschinen und Anlagen. Mit Software differenzieren sie sich vom Wettbewerb und können wirtschaftlich kundenindividuelle Varianten anbieten.“ Winkler weiter: „Für den Maschinenanwender zählt immer mehr die einfache Vernetzbarkeit der Maschinen in ihre IT-Systeme. Die Kommunikationsfähigkeit der Maschinen-Software ist damit ein entscheidendes Kaufkriterium.“ Diese Marktanforderung erfüllt Bosch Rexroth mit „ctrlX Automation“, einer komplett neuen Automatisierungsplattform. Sie integriert neueste Software-Technologien für das Engineering und sämtliche SPS- und Motion-Aufgaben. ctrlX Automation bietet Maschinenherstellern zudem alle



**Bild 1** Steffen Winkler, Vertrieb Bosch Rexroth: „Die neue Plattform ‚ctrlX Automation‘ erschließt mit der App-Technologie völlig neue Freiheitsgrade für Maschinenhersteller, Funktionen Know-how-geschützt in nahezu beliebigen Programmiersprachen zu erstellen und individuell zu kombinieren.“

Freiheitsgrade der von Smart Devices bekannten App-Technologie. Winkler: „Die Consumer- und Arbeits-Welten zeigen, wohin die Reise gehen muss: Aufwendige Programme für einzelne Plattformen wie PCs sind längst durch Apps abgelöst worden, die auf allen Geräteklassen laufen. Software-Lösungen sind drahtlos vernetzbar und die Bedie-

nung ist einfacher als je zuvor.“ Deshalb kombiniert die Steuerungsplattform nahezu beliebige Softwarefunktionen durch vorgefertigte oder selbst erstellte und erstellbare Apps. Diese Apps können in einer Vielzahl von Programmiersprachen wie C++, Skriptsprachen wie Python oder neuen grafischen Sprachen wie Blockly erstellt werden.

## Klassische Programmierung ist nicht mehr zwingend erforderlich

Die klassische Programmierung nach IEC 61131, PLCopen oder G-Code ist weiterhin möglich, jedoch nicht mehr zwingend erforderlich. Die freie Wahl der Programmiersprache macht Maschinenhersteller unabhängiger vom Fachkräftemangel für SPS-Spezialisten und proprietären Systemen. Damit bietet die neue Automatisierungsplattform Softwareentwicklern ohne spezielle Kenntnisse in klassischen Automatisierungssprachen einen sofortigen Zugriff. Anwender können zudem das Echtzeit-Betriebssystem konfigurieren, ihre eigene Software implementieren und über Apps Funktionen erweitern.

ctrlX Automation bietet als das zentrale Architekturelement für die Kommunikation beliebiger Apps untereinander einen Data Layer als zentrales Nervensystem für einen Austausch aller Echt- und Nichttechtzeitdaten – sogar über mehrere Steuerungen hinweg. Die Transparenz der Datenschicht, auf die autorisiert zugegriffen werden kann, stellt den Schlüssel für den Einsatz zukünftiger Technologien wie künstliche Intelligenz dar.

## Engineeringaufwand reduziert

Die Konfiguration und Inbetriebnahme der Automatisierungskomponenten erfolgt komplett webbasiert ohne Softwareinstallation. Die Softwareprogrammierung wird vom Anwender in der jeweils gewohnten Umgebung vorgenommen. Die ctrlX Automation-Systemumgebung steht zudem auch komplett virtuell zur Verfügung, so dass die Programmierung auch ohne Hardware erfolgen kann. Die Systemfunktionalitäten können jederzeit über eigene Prozessfunktionen, Apps und Open Source Software erweitert werden. Insgesamt reduziert ctrlX Automation den Engineeringaufwand – nach Angabe von Bosch Rexroth um 30 bis 50 Prozent – und verkürzt damit die Time to Market neuer Maschinen. Die Vorab-Konfiguration und -Programmierung der Steuerung verringern außerdem die Inbetriebnahmezeit beim Kunden erheblich. Die Entwicklungsumgebung unterstützt „GitHub“, eine mit mehr als zehn Millionen registrierten Nutzern weltweit etablierte

Entwickler-Community. Damit haben Maschinenhersteller Zugriff auf nahezu unbegrenzte Programmierkapazitäten und bereits geschriebene Funktionen und können zudem in geschützten Bereichen intern besser zusammenarbeiten.

## „Secure by Design“

Das gesamte System ist „Secure by Design“ und erfüllt IT-Sicherheitsstandards nach IEC 62443. Die konfigurierbare Benutzerverwaltung verhindert einen unautorisierten Zugriff auf Daten und Funktionalitäten. Die System-Software bietet einen erhöhten Schutz vor Viren und Trojanern. Eine integrierte Firewall ermöglicht die verschlüsselte Übertragung von Daten durch VPN sowie sichere Remote-Services. Über das Device Portal von Bosch Rexroth können Anwender alle intelligenten Komponenten von ctrlX

## „Maschinenhersteller brauchen die Möglichkeit, ihr Know-how auch in den weit verbreiteten Hoch- und Internet-sprachen umzusetzen.“

Automation digital aus der Ferne verwalten und Security-Updates sowie neue Funktionen installieren, ohne direkt vor Ort sein zu müssen. Durch rückwirkungs-freie Updates während des Produktionsprozesses (Secure Production Mode) maximiert die neue Lösung die Produktivität und die Zukunftssicherheit.

## Hochperformante Hardware

ctrlX Automation basiert auf einer neuen Generation von Multicore-Prozessoren – bereitgestellt von der Konzernmutter Bosch – welche ausreichend Rechenleistung für nahezu alle Automatisierungsaufgaben zur Verfügung stellen. Diese High-Performance-CPU kann durchgängig in Embedded PCs (ctrlX Core), Industrie-PCs (ctrlX IPC) oder direkt in Antriebe (ctrlX Drive) integriert

werden. Zukünftige CPU-Upgrades erfordern keinerlei Softwareanpassungen. Die Software läuft unabhängig von der Hardware in allen Topologien. Bosch Rexroth stellt bei ctrlX Automation eine Servicefähigkeit für alle Komponenten von mindestens 20 Jahren sicher – einschließlich der aktuell verwendeten CPUs.

## Bestens vernetzt

Die neue Automatisierungsplattform ist durch eine sehr hohe Konnektivität auf die Anforderungen von Industrie 4.0 ausgelegt. Über den Automatisierungsbus EtherCAT hinaus unterstützt die Hardware über ctrlX I/O gängige Protokolle. Mehr als 30 direkte Anschlussmöglichkeiten und Kommunikationsstandards bieten maximale Flexibilität für die wirtschaftliche und durchgängige Vernetzung von der Feldebene bis in die Cloud. Die Plattform unterstützt beispielsweise OPC UA, MQTT, ProfiNet, CAN und IO-Link. ctrlX Automation ist auf zukünftige Kommunikationsstandards wie TSN und 5G vorbereitet und damit das wohl am besten vernetzbare System auf dem Markt.

## Komplettes Hardware-Portfolio aus einer Hand

ctrlX Automation umfasst zusätzlich zur Steuerungshardware erweiterbare I/O-Module, eine neue Generation extrem kompakter Servoantriebe, ein breites Spektrum an Bediengeräten sowie IPCs für die PC-basierte Automatisierung oder Edge-Lösungen. Die integrierte Sicherheitstechnik ctrlX Safety vereint sichere Logik und Bewegung und vereinfacht die Umsetzung normgerechter Maschinensicherheit. Insgesamt spart ctrlX Automation bis zu 50 Prozent Bauraum und reduziert die Anzahl einzelner Komponenten deutlich. Dies minimiert die Aufwände für Logistik, Installation, Schaltschränke, Ersatzteile und Service im Feld. ■

### Kontakt

Bosch Rexroth AG  
Maria-Theresien-Straße 23  
97816 Lohr am Main  
Tel.: 0 93 52 / 18-0  
E-Mail: [info@boschrexroth.de](mailto:info@boschrexroth.de)  
[www.boschrexroth.de](http://www.boschrexroth.de)  
[www.iot.bosch.com](http://www.iot.bosch.com)

## Spurführung und Lokalisierung bei Fahrerlosen Transportsystemen

# Bestens unterwegs mit optischer Spurführung

Sicherheits-Hinweis im Flugzeug: Leuchtspuren im Boden zeigen den Weg zu den Notausgängen. Eine Idee, die das optische Spurführungssystem „OLS20“ für Fahrerlose Transportsysteme (FTS) übernommen hat – denn der Sensor bringt lumineszierende Leitlinien zum Leuchten und die Fahrzeuge so sicher ans Ziel.

Wenn die Lösung dann noch durch Robustheit, Flexibilität und Kostenvorteile überzeugt, sind Anwender und Fahrzeuge in jeder Hinsicht gut unterwegs.

**D**er OLS20 wird zur optischen Spurführung und Lokalisierung von autonomen Fahrzeugen, mobilen Plattformen und anderen, fahrerlosen Transporteinheiten in der Intralogistik eingesetzt. Es nutzt mit dem Lumineszenzprinzip eine für dieses Applikationsfeld ideal geeignete, technologische Plattform, die insbesondere im Vergleich mit Kameralösungen deutliche Kosten- und Performancevorteile bietet. Sie überzeugt mit Ihrer Flexibilität, weil Fahrwege, Verzweigungen, Quellen und Senken einfach durch Aufbringen eines Lumineszenzklebendes oder Farblacks eingerichtet und nachträgliche Änderungen im Parcours auf entsprechend einfache Weise möglich sind.

## Die Idee der leuchtenden Leitspur basiert auf ...

... dem Einsatz von Luminophoren. Die Leuchtkraft der Luminophore entsteht erst, wenn die Elektronen dieser fluoreszierenden Stoffe durch elektromagnetische Energie, beispielsweise in Form einer Ultraviolett- oder Blaulichtquelle, angeregt werden. Der optische Spurführungssensor OLS20 nutzt dieses Wirkprinzip. Die Lichtquelle im Sensor regt den Teil der Leitspur, der sich im Sichtfeld befindet, zum Leuchten an. Hierbei



**Bild 1** Das OLS20 wird zur optischen Spurführung und Navigation autonomer Fahrzeuge, mobiler Plattformen und anderer, fahrerloser Transporteinheiten in der Intralogistik eingesetzt.

wird mit bis zu 1 : 1000 ein hohes Signal-Hintergrund-Verhältnis erreicht, das um Faktoren besser ist als beispielsweise bei kamerabasierten Systemen – denn es kommt deutlich mehr Licht zurück als bei kontrastbasierten Kamerasystemen. Diese optische Überlegenheit resultiert in einer

entsprechend höheren Detektionssicherheit des OLS20. In gleichem Maß bietet dieses Spurführungssystem auch eine höhere Fremdlightsicherheit: Weder Lichteinfall noch Spiegelungen oder andere optische Störungen beeinflussen den zuverlässigen Betrieb des OLS20 und damit die Performance der FTS.

## „Spurhalteassistent“ integriert

Der OLS20 arbeitet mit einem 180 mm breiten Sichtfeld, innerhalb dessen er bis zu drei Spuren gleichzeitig detektieren kann. Dadurch können Verzweigungen oder Zusammenführungen von Strecken sehr flexibel und elegant eingerichtet werden. Darüber hinaus erlaubt das große Sichtfeld auch die Verlegung enger Kurvenradien bis 0,5 m – was kleinen und wendigen Fahrzeugen ebenso entgegenkommt wie der Einrichtung von Andockstrecken an Quellen und Senken. Während der Fahrt des FTS arbeitet das optische Spurführungssystem mit einer Genauigkeit von  $\pm 1$  mm und überprüft dabei – ähnlich einem Spurhalteassistenten – auch mögliche Abweichungen vom Spurmittelpunkt. Dies erlaubt es, mit dem FTS insbesondere Engstellen kollisionsfrei zu passieren. Sollte es zu partiellen Abdeckungen, Verschmutzungen oder Beschädigungen des Spurbandes kommen, werden diese Fehl-



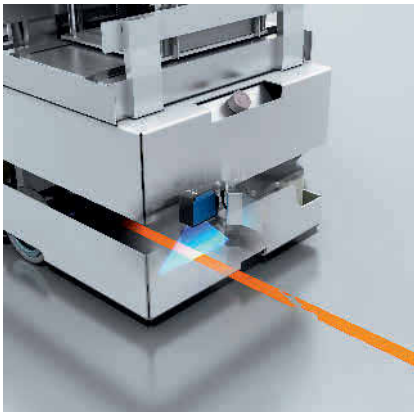
stellen im OLS20 kompensiert. Dadurch kann das FTS seine Fahrt unterbrechungsfrei fortsetzen.

## Einfache Inbetriebnahme und Integration

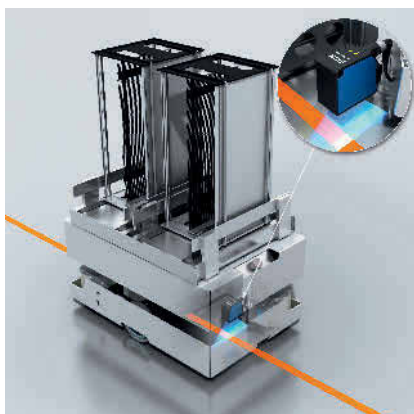
Die Sensorik des OLS20 ist in einem robusten Metallgehäuse untergebracht, das in Größe und Befestigungsmöglichkeiten auf einen bekannten Industriestandard setzt. Die kompakte Bauform erlaubt die Integration auch in besonders kleine FTS und mobile Plattformen. Für spezielle Montage-möglichkeiten steht zusätzlich bewährtes Zubehör zur Verfügung, das eine dauerhaft stoß- und vibrationssichere Fixierung

und Ausrichtung des Sensors gewährleistet. Der OLS20 kann Plug-and-play in Betrieb genommen werden – ein Einlernen des Leitspurbandes oder von Kontrastunterschieden zwischen Band und Boden ist nicht erforderlich. Ebenso einfach ist das Verlegen der Luminophor-Leitspur: Neben handelsüblichen Bandqualitäten aus beschichtetem Textil oder aus PVC für unterschiedliche Beanspruchungsgrade stehen auch Kurvenbänder in verschiedenen Radien zur Verfügung. Die Spur wird einfach durch Aufkleben auf dem Boden angebracht – der Parcours kann danach

jederzeit ergänzt oder modifiziert werden. Integrationstechnisch bietet das OLS20 die im FTS-Umfeld übliche RS485-Schnittstelle sowie CANopen-Feldbusanbindung. IO-Link ist ebenfalls an Bord, sodass der Sensor weitere Einsatz- und Umfelddaten erfassen und ausgeben kann – beispielsweise für das Condition Monitoring oder zur Performanceoptimierung. In der Gesamtkostenbetrachtung von System, Installation und Betrieb überzeugt der OLS20 somit durch hohe wirtschaftliche Effizienz, wie sie insbesondere kamerabasierte Spurführungssysteme nur schwer erreichen.



**Bild 2** Der OLS20 kompensiert Beschädigungen des Spurbandes und ermöglicht so eine unterbrechungsfreie Weiterfahrt.



**Bild 3** Das optische Spurführungssystem OLS20 nutzt die Leuchtkraft von Luminophoren. Im Vergleich mit Kameralösungen resultieren daraus sowohl eine höhere Detektionssicherheit als auch eine höhere Fremdlichtsicherheit – also mehr Performance.

Germany | USA | Mexico | China | South Korea | Japan

Gear Technology. Worldwide.

Planetary Gears.  
Designed to your needs.

**sps**

smart production solutions

Nürnberg, 26. – 28.11.2019

Halle 1 · Stand 161



plg.imsgea.com

**IMS:GEAR**



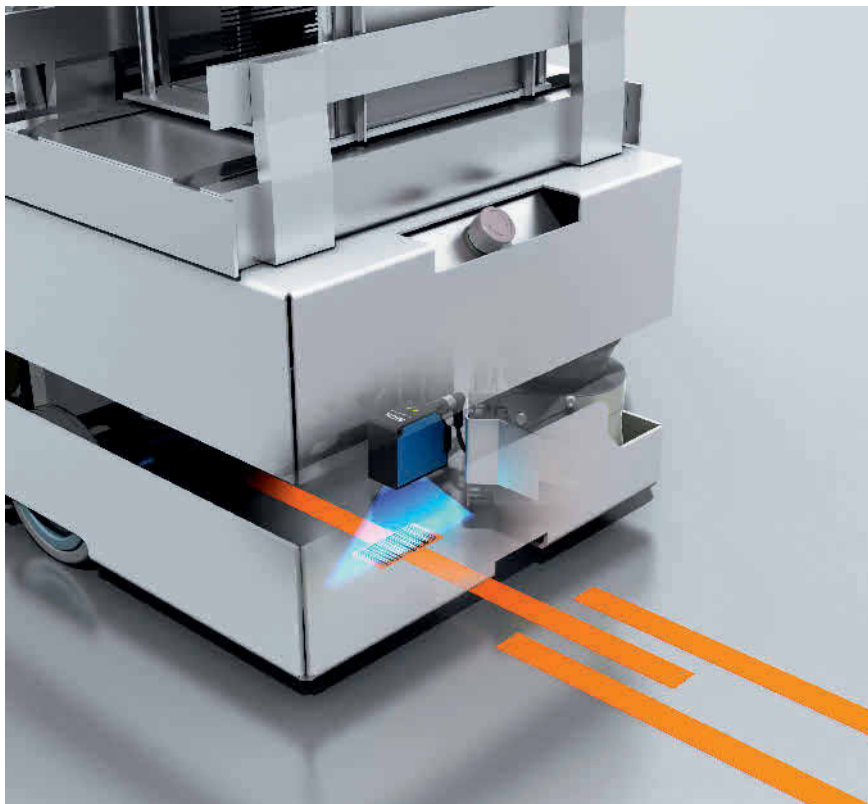
**Bild 4** Zur Bestimmung der aktuellen Fahrzeugposition ist eine Barcodelesefunktion in den Sensor integriert.

## Unterstützt Navigation und Lokalisierung

Neben seiner hochperformanten, optischen Spurverfolgung unterstützt der OLS20 auch aktiv die Navigation und Lokalisierung von FTS im intralogistischen Umfeld. Zur Bestimmung der aktuellen Fahrzeugposition ist eine Barcodelesefunktion in den Sensor integriert. Die Kennzeichnungen im Format 2/5 interleaved können an beliebigen Stellen entlang der Leitspur aufgebracht und beim Überfahren ausgelesen werden. Dadurch

**„Das Lumineszenzprinzip ist für dieses Applikationsfeld ideal geeignet und bietet deutliche Kosten- und Performancevorteile.“**

kennt die FTS-Steuerung wie auch ein übergeordnetes Lokalisierungssystem die aktuelle Fahrzeugposition. Fahrrelevante Abweichungen, die beispielsweise durch Schlupf der Antriebsräder oder beim Bremsen entstehen können, werden durch den Reset der Position im Navigationssystem kompensiert. Darüber hinaus können über die Barcodes auch das Erreichen von Landmarken wie Kurven, Auf- und Abfahrten, Hallentoren oder bestimmten Abschnitten im Parcours übermittelt werden. Aus diesen Streckeninformationen lassen sich direkte Fahrbefehle aktivieren – was die Fahrzeugsteuerung vereinfacht.



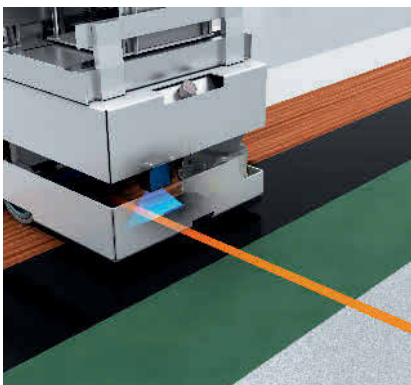
**Bild 5** Der OLS20 arbeitet mit einem 180 mm breiten Sichtfeld, innerhalb dessen er bis zu drei Spuren gleichzeitig detektieren kann, beispielsweise an Verzweigungen oder Zusammenführungen von Strecken.

## Drei Lösungskonzepte für die Spurführung

Als Sensor-Systemlieferant für FTS setzt Sick das Thema Spurführung von Fahrzeugen mit insgesamt drei Lösungskonzepten um. Die optische Spurführung mit den Systemen OLS10 – zusätzlich mit Display, TCP/IP-Ethernet-Schnittstelle und integriertem Webserver – und OLS20 ermöglichen eine sehr flexible und

schnelle Gestaltung und Modifikation von Fahrwegen. Das magnetische Spurführungssystem MLS von Sick detektiert ein magnetisches Führungsband, das ebenfalls als Band aufgebracht oder – zum besonderen Schutz vor Beschädigungen – im Bodenbelag verlegt werden kann. Als Alternative, aber auch als Ergänzung zu beiden Spurführungstechnologien, lässt sich mit dem Rasterlokalisierungssystem GLS über 2D-Codes eine Lokalisierungslösung zur Bestimmung der absoluten Fahrzeugposition umsetzen.

Ob OLS, MLS oder GLS – mit diesen Lösungen sind FTS immer auf der richtigen Spur.



**Bild 6** Wechselnde Kontrastunterschiede zwischen Leitspur und Untergrund haben keinen Einfluss auf die zuverlässige Funktion des OLS20.



**Sebastian Berblinger**

Product Manager Registration Sensors, Global Business Center Presence Detection, Sick AG

Kontakt:  
Sick AG  
Erwin-Sick-Straße 1  
79183 Waldkirch  
Tel.: 0 76 81 / 2 02-0  
Fax: 0 76 81 / 2 02-38 63  
E-Mail: [info@sick.de](mailto:info@sick.de)  
[www.sick.com](http://www.sick.com)

## Komplettlösung zur Integration und Analyse von Produktionsdaten

Drei Unternehmen der Friedhelm Loh Group arbeiten künftig noch enger zusammen: Rittal, German Edge Cloud und IoTOS. „Daten sind der neue Rohstoff“, formulierte Dr. Friedhelm Loh bereits 2016 bei der Grundsteinlegung des neuen Rittal-Werks in Haiger. Die weltweit modernste automatisierte und digital integrierte Produktion von Klein- und Kompaktgehäusen läuft derzeit an – und produziert täglich bereits 18 Terabyte Daten. Die drei Unternehmen bieten eine echtzeitfähige Komplettlösung zum Edge Cloud-basierten Datenmanagement und zur Datenverfügbarkeit entlang der gesamten Lieferkette, von der Nutzung über intelligente Analysen bis hin zur sicheren und vom Kunden kontrollierbaren Übertragung von Daten in einer effizienten Gesamtumgebung. „Oncite“, das Produkt (Industrial Edge Cloud Appliance), das Rittal und German Edge Cloud mit IoTOS und mit Bosch Connected Industry anbietet, „ist die Antwort auf die Frage, wie produzierende Industriekunden künftig mit der steigenden Komplexität in der Verarbeitung von Produktionsdaten schnell und einfach umgehen können“, sagt Dr. Friedhelm Loh, Inhaber und Vorstandsvorsitzender der Unternehmensgruppe: „Die Automobilindustrie hat mit der Digitalisierungsoffensive von VW und BMW als erste Branche die vollständige Datenverfügbarkeit entlang der gesamten Lieferkette von der produzierenden Industrie gefordert. Weitere werden folgen. Auf diese Anforderungen der Zukunft muss sich der Mittelstand heute schon einstellen. Mit Rittal, German Edge Cloud und IoTOS helfen wir unseren Kunden dabei – und gestalten die Zukunft.“ Oncite besteht aus Edge-Cloud-Infrastrukturen (IaaS) auf Basis flexibel skalierbarer Edge Cloud-Rechenzentren von Rittal, Plattformen für Datenanalyse (PaaS) und industriespezifische KI-Anwendungen (SaaS) inklusive vollumfänglichem Service. IoTOS bietet im Verbund Softwarelösungen zum Beispiel zur Vernetzung von Geräten und Maschinen, Real-Time-Analytics sowie der Nachverfolgbarkeit aller Komponenten in der Lieferkette. „Ziel ist es, unseren Kunden Transparenz über die komplette Wertschöpfungskette zu verschaffen, ihre Produktivität zu steigern, Wartungskosten zu minimieren und gleichzeitig digitalisierte Geschäftsmodelle zu implementieren“, so Dieter Meuser, Geschäftsführer von IoTOS: „Wir freuen uns, dass wir jetzt zu einer starken Unternehmens-



Die Friedhelm Loh Group übernahm das Start-up IoTOS aus Limburg. Das Unternehmen bietet Softwarelösungen etwa zur Vernetzung von Geräten und Maschinen, Real-Time-Analytics sowie die Nachverfolgbarkeit aller Komponenten in der Lieferkette. (Bild: Rittal GmbH & Co. KG)

gruppe gehören, die anerkannter Vorreiter bei der Entwicklung von Lösungen für die Digitalisierung des Mittelstands ist.“

Mit den Unternehmen Rittal, German Edge Cloud und IoTOS, aber auch mit Eplan (Engineering) und iNNOVO Cloud (Managed Services) richtet sich die Friedhelm Loh Group auf die Integration der Wertschöpfungsketten in Industrie und IT aus. Es gehe künftig nicht allein um das beste Produkt und die effizienteste Lösung in den Wertschöpfungsketten der Industriekunden. Es gehe auch darum, die dafür notwendigen datengetriebenen Prozesse vom Kunden bis zum Kunden sowie entlang der gesamten Lieferkette und innerhalb der intelligenten Fabriken wertschöpfend zu integrieren, so Dr. Friedhelm Loh: „Wer das beste Produkt und die beste Plattform mit entsprechenden Anwendungen hat, dem gehört die Zukunft.“  
 IoTOS GmbH, [www.iotos.io](http://www.iotos.io); Rittal GmbH & Co. KG, [www.rittal.de](http://www.rittal.de);  
 Friedhelm Loh Stiftung & Co. KG, [www.friedhelm-loh-group.com](http://www.friedhelm-loh-group.com)



### Think digital, add value. Industrial Internet of Things. Digitale Mehrwertdienste.

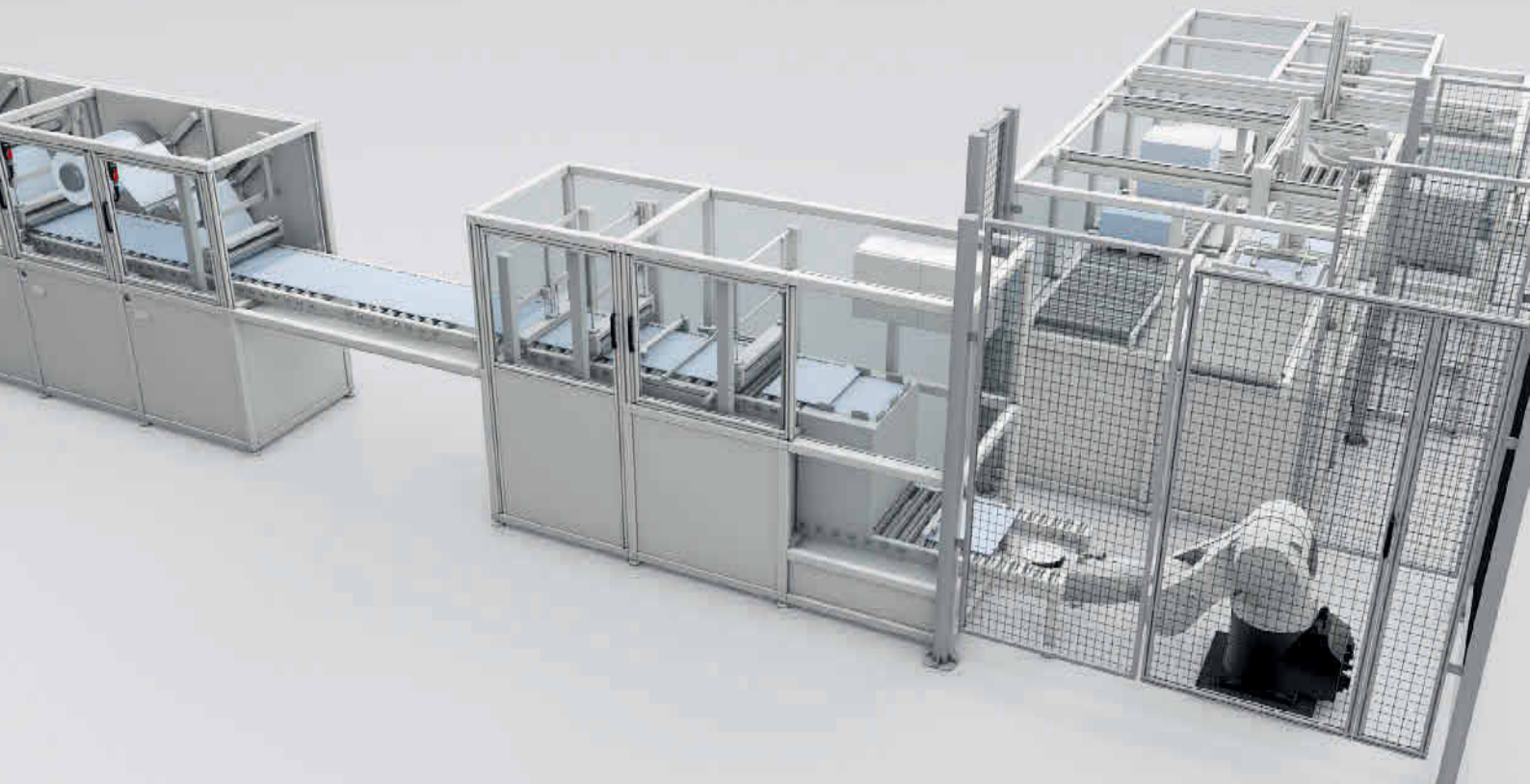
Die Neoception GmbH ist ein eigens für die Entwicklung von industriellen IoT-Lösungen gegründetes Startup. Als Pepperl+Fuchs Tochter kombinieren wir langjährige Kompetenz in der Automatisierungstechnik mit den Ideen und Möglichkeiten einer digitalisierten Industrie. Unsere Vision? Mit individuellen und flexiblen Diensten, die 4.0 hinter Ihre Anlage setzen und echten Mehrwert für Ihr Unternehmen schaffen.

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

Your automation, our passion.

**NEOCEPTION**  
A Pepperl+Fuchs Company





**Bild 1** Verpackungsanlagen brauchen Sicherheit. Der transpondercodierte Türzuhaltung CTM verhindert auch, dass sich Personen bei Stromausfall versehentlich einschließen. (Bild: Euchner)

**Effizienz und Sicherheit durch einfach integrierbare Türzuhaltungen**

# Transpondercodierte Zuhaltung für die Verpackungsindustrie

Mit seinen neuen transpondercodierten Türzuhaltungen spricht Euchner gezielt Hersteller von Verpackungsmaschinen an. Die Zuhaltungen zeichnen sich durch Zuverlässigkeit, höchstes Schutzniveau und sehr kompakte Maße aus. Damit lassen sie sich gut in das Design von Verpackungsmaschinen integrieren. Zudem bieten sie dank intelligenter Kommunikationsfähigkeiten Zukunftssicherheit in punkto Industrie 4.0.

**D**er Trend zu Digitalisierung und Automatisierung macht vor der Verpackungsindustrie nicht Halt. Zugleich arbeiten Verpackungslinien für Pharma-, Healthcare- und Kosmetikartikel, ebenso wie für Lebensmittel, Getränke etc. in aller Regel mit kurzen Taktraten und hohem Tempo. Der Einsatz von schnellen Robotern sorgt ebenfalls für hohe Durchsätze. Entsprechend strikt sind die Sicherheitsanforderungen für die

hochautomatisierten Prozesse. Und zwar unabhängig davon, ob es sich um Primär-, Sekundär- oder Endverpackung handelt. Die Grundlage dafür bilden die EU-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG und die EN 415-10, die als übergreifende Normen für die unterschiedlichsten Typen von Verpackungsmaschinen und deren Peripherie, darunter die vor- oder nachgeschaltete Fördertechnik samt Greifsystemen und Palettierer, detaillierte Schutzmaßnahmen vorschreiben. Dies können Um- oder Einhausungen mit Türen, Klap-

pen, Schutzzäunen oder anderen Sicherheitseinrichtungen sein. So sind z. B. Gefährdungen durch bewegliche Teile, rotierende Komponenten und hohe Temperaturen durch zusätzliche konstruktive Vorkehrungen auszuschließen.

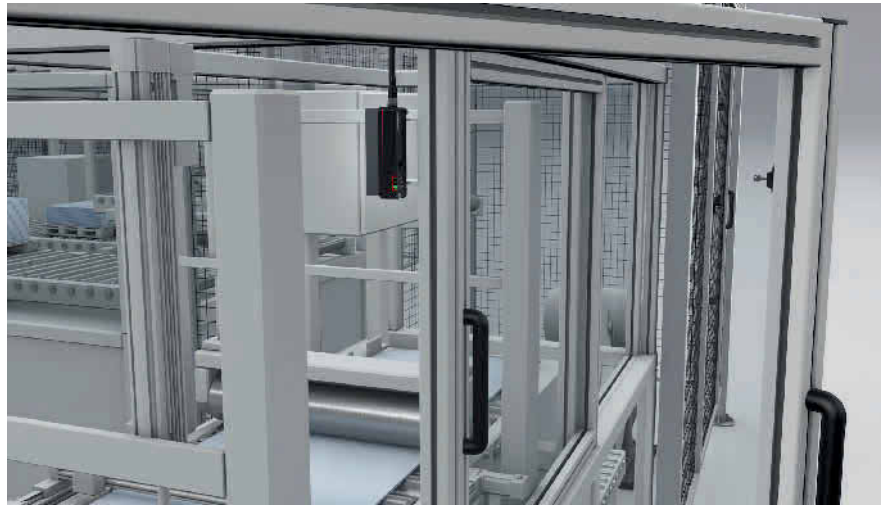
## **Zusammenspiel von Wirtschaftlichkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit**

Es versteht sich von selbst, dass die in Anlagen oder Maschinen integrierten

Sicherheitssysteme wie Lichtgitter, Sensoren oder Zuhaltungen mit hoher Zuverlässigkeit arbeiten müssen – nicht selten im 24-Stunden-Betrieb an sieben Tagen in der Woche. Auf der anderen Seite müssen die Schutzmaßnahmen so gestaltet sein, dass sie Fertigungsabläufe nicht unterbrechen, sondern die Produktivität der Anlagen auf hohem Niveau halten. Mit anderen Worten: Es geht um ein Zusammenspiel von wirtschaftlicher Effizienz, Maschinenverfügbarkeit und Sicherheitserfordernissen. Genau diese Aspekte hat Euchner bei der Entwicklung seiner jüngsten Entwicklung berücksichtigt.

### Mit kompakten Maßen auf Verpackungstechnik getrimmt

Die CTM-Serie, die Euchner mit Fokus auf die Verpackungsindustrie entwickelt hat, trägt den speziellen Anforderungen dieser Branche Rechnung. Wie Anne Fieg, die zuständige Produktmanagerin, betont, entstand die Produktneuheit in engem Kontakt mit Kunden aus der Branche. „Durch intensive Zusammenarbeit mit Endanwendern haben wir ein tiefgreifendes Verständnis von deren aktuellen Marktbedürfnissen“, sagt die Managerin. So favorisiere die Verpackungsindustrie eher kompakte Schalter und Sicherheitssysteme, die sich so verbauen lassen, dass sie nahezu unsichtbar sind. Gleichzeitig würden mehr und kleinere Türen mit weitaus geringeren Zuhaltekräften verwendet als etwa im Werkzeugmaschinenbau. Beispiele für typische Anwendungen sind Case Packer sowie Dosier-, Füll- und Verschleißmaschinen. Insofern bringt der CTM schon vom Design her die besten Voraussetzungen für den Einsatz in dieser Branche mit sich. Dank der äußerst geringen Abmessungen von lediglich 120 x 36 x 25 Millimetern lässt sich das Euchner-System besonders leicht in die Um- oder Einhausung von Abfüll- und Verpackungsmaschinen montieren. Daran knüpft ein weiterer Vorteil an, der angesichts des häufig knappen Bauraums bei Verpackungsanlagen positiv zu Buche schlägt: Der innovative Elastomer-gelagerte Kugelbetätiger gestattet die Absicherung von Türen mit äußerst kleinen Schwenkradien ab 150 Millimeter. ►



**Bild 2** Hohe Schutzwirkung: Trotz kompakter Bauform bietet die CTM-Serie eine zuverlässige Schutz- türabsicherung nach Kat. 4/PL e. (Bild: Euchner)



**Bild 3** Der flexible Kugelbetätiger der CTM-Serie ermöglicht die Absicherung kleinster Türradien – ideal für Maschinen mit knappem Bauraum. (Bild: Euchner)



**Bild 4** Einfache Verdrahtung mit M12-Steckverbinder: Bis zu zehn CTM-Zuhaltungen lassen sich im Feld in Reihe schalten und mit anderen Euchner-Systemen verbinden. (Bild: Euchner)



**Bild 5** Variante, die alle Hygiene-Standards erfüllt: Eine speziell auf den Umgang mit Lebensmitteln zugeschnittene CTM-Version lässt sich beispielsweise in Maschinen für die Erstverpackung von Fleisch oder Schokolade einsetzen. (Bild: Euchner)

## Kleine transpondercodierte Zuhaltung bietet höchste Schutzwirkung

Der CTM darf für sich in Anspruch nehmen, einer der kleinsten transpondercodierten Schalter mit Zuhaltung zu sein. Klein bedeutet jedoch keinesfalls geringere Sicherheit. Trotz der kompakten Bauform bietet der CTM eine zuverlässige Schutztürabsicherung nach Kat. 4/PL e entsprechend EN ISO 13849. Das heißt: Der CTM erfüllt das höchste Schutzniveau für Maschine und Mensch. Bei Stromausfall oder beim Abschalten der Anlage sorgt die bistabile Zuhaltfunktion stets für eine hohe Schutzwirkung; denn selbst dann verharrt das System in seinem aktuellen Zustand. War die Zuhaltung des Schalters davor aktiviert, bleibt die Tür weiterhin sicher zugehalten. War die Zuhaltung deaktiviert, kann die Tür nach wie vor geöffnet und wieder geschlossen werden. Das unbeabsichtigte Einschließen von Personen ist praktisch ausgeschlossen. Die für den Personenschutz zugelassene, formschlüssige Zuhaltung mit Transpondercodierung ergänzt die in der Verpackungstechnik als Standardtechnologie verwendete magnetische Zuhaltung. Das CTM-System glänzt mit einer hohen Codierungsstufe. Zudem spielt der Winzling bei der Zuhaltkraft munter mit: 1000 N reichen für die meisten Anwendungen in der Verpackungsindustrie aus. In den Bereichen, in denen eine höhere Zuhaltkraft benötigt wird, etwa bei der zu- oder abführenden Fördertechnik, kann der Anwender auf andere Schaltertypen aus dem Sortiment von Euchner zurückgreifen.

## Hygienevariante für das Verpacken von Nahrungsmitteln und Pharma

Schon das schwarzrote Basismodell der CTM-Zuhaltung ist nach Hygiene Gesichtspunkten gestaltet, so dass sie sich leicht reinigen lässt. Das Gehäuse erfüllt von Haus aus die Schutzklasse IP 69. Das heißt: Es widersteht problemlos Hochdruck- und Dampfstrahlreinigern. Neben der Grundversion offeriert Euchner noch eine spezielle Variante, in der ausschließlich lebensmittelkonforme Werkstoffe verbaut sind. So entsprechen die Kunststoffe dieser an ihrem schwarzblauen Design erkennbaren Version der EU-Verordnung Nr. 10/2011. Mit ihren glatten Oberflächen, abgerundeten Kanten und gegenüber Reinigungsmedien resistenten Materialien eignet sich die Hygienevariante optimal für den Einsatz im „First Packaging“ von Lebensmitteln, medizinischen Instrumenten oder Arzneimitteln. Auch für das Abfüllen von flüssigen Körperpflege- und Wellness-Produkten oder von Getränken ist diese spezielle Version prädestiniert.

## Hohe Energieeffizienz hält Strombedarf in Grenzen

Wie überall in Maschinen- und Anlagenbau spielt auch bei der Verpackungstechnik das Thema der Energieeffizienz eine immer wichtigere Rolle. Die vielen Sicherheitsschalter und Zuhaltungen, die in einer Verpackungsline verbaut sein können, machen sich durchaus als Stromverbraucher bemerkbar. Deshalb achten

die Konstrukteure von solchen Anlagen zunehmend darauf, dass sich der Energiebedarf der darin integrierten Systeme in Grenzen hält. Um mehrere Zuhaltungen per Y-Verteiler in Serie schalten zu können, muss deren Strombedarf ohnedies möglichst gering sein. Die auf Sparsamkeit getrimmten Schalter der CTM-Serie ziehen – nicht zuletzt dank des bistabilen Zuhalteprinzips – bei der Umpolung des Magnets lediglich 70 Millisekunden lang 500 Milliampere aus dem Stromnetz. Während des Dauerbetriebs sind es dann nur noch 50 bis 70 Milliampere.

## Dank intelligenter Kommunikationsfunktionen Industrie 4.0-fähig

Im Feld lassen sich bis zu zehn CTM-Zuhaltungen elektronisch aneinanderreihen. Darüber hinaus kann sie der Konstrukteur ohne weiteres mit anderen Geräten von Euchner verdrahten. So können die hot-plug-fähigen Systeme mit dem ebenfalls neuen Sicherheitsmodul ESM-CB gekoppelt werden, um etwa kontinuierlich Prozessdaten vom System via IO-LinkMaster an die übergeordnete Steuerungsebene zu liefern. Das Sicherheitsmodul fungiert als Sicherheitsrelais. Zugleich steht es in ständigem Dialog mit den angeschlossenen Geräten. Für jeden Schalter fragt es unter anderem den Systemzustand, die Umgebungsbedingungen sowie weitere Details in Echtzeit ab. Sind die Zuhaltungen so miteinander vernetzt, ergeben sich für den Betreiber der Verpackungsanlage eine Vielzahl von Diagnose- und Auswertungsmöglichkeiten. Darüber hinaus lassen sich die intelligenten Kommunikationsfunktionen des Systemverbunds im Sinne von Industrie 4.0 nutzen. Etwa für Predictive Maintenance. „Der Wunsch nach vorausschauender Wartung gewinnt innerhalb der Verpackungstechnik immer mehr an Relevanz. Mit der CTM-Serie von Euchner sind die Konstrukteure von Verpackungsmaschinen und deren Peripherie auch in dieser Hinsicht auf der sicheren Seite“, betont Fieg. ■

### Kontakt

Euchner GmbH + Co. KG  
Kohlhammerstraße 16  
70771 Leinfelden-Echterdingen  
Tel.: 07 11 / 75 97-0  
E-Mail: info@euchner.de  
www.euchner.de





„Smart Communication Module“ (SCM) – Master Gateway zur direkten Umsetzung des digitalen Busprotokolls auf IO-Link und vice versa. (Bild: Zimmer Group)

## Einfache Parametrierung und Inbetriebnahme von Robotern

Besonders im Feld der Leichtbauroboter ist der Markt momentan stark in Bewegung. Immer mehr Hersteller und Modelle bereichern das Feld der Automatisierung mit Robotermodellen für unterschiedlichste Aufgaben, jedoch sind die Schnittstellen ebenso mannigfaltig wie die Ausprägung der Roboter. Ein allgemein verbindlicher Schnittstellenstandard existiert nicht und ist auch derzeit nicht absehbar. Die Zimmer Group hat diese Herausforderung bereits früh erkannt und stellt nun der SPS in Nürnberg das „Smart Communication Modul“ (SCM) in Verbindung mit der Inbetriebnahme-Software „guideZ“ vor. Diese ermöglichen sowohl die einfache Parametrierung und Inbetriebnahme, aber gestatten auch die Vorteile und Funktionalitäten von IO-Link-Komponenten an Robotern auszunutzen – an Robotern, die ausschließlich digitale Kommunikation erlauben.

Das SCM als Master Gateway ist in zwei Ausführungen – für die Schaltschrankschaltung (Schutzart IP20) oder für den direkten Verbau am Roboterflansch (IP54) – verfügbar. Beide Versionen sind für den Anschluss von zwei IO-Link-Komponenten ausgelegt und können die einzelnen Parameter der Komponenten programmieren. Dabei übernehmen sie permanent die Umsetzung des Busprotokolls von digital I/O auf IO-Link. Während der Parametrierung benötigen sie jedoch zusätzlich eine temporäre Ethernet-Verbindung. Somit ist es trotz der relativ begrenzten Fähigkeiten einer digital I/O-Übertragungsinfrastruktur vieler Roboter möglich, nahezu alle Funktionalitäten der hochentwickelten IO-Link Komponenten der Zimmer Group zu nutzen.

Die zweite Neuheit, die auf der SPS präsentiert wird, ist das Software-Tool „guideZ“ für die schnelle und einfache Inbetriebnahme von Komponenten. Es ermöglicht die benutzergeführte Implementierung und Inbetriebnahme für wirklich Jedermann. Dabei ist ein Umschalten zwischen Wizard- beziehungsweise Einsteiger und Expert-Modus möglich. Die Parameterdaten dieser 7-Schritte-Inbetriebnahme lassen sich einfach und unkompliziert an jede SPS-Steuerung oder auch an Kleinststeuerungen anpassen.

Zimmer Group, [www.zimmer-group.de](http://www.zimmer-group.de)

## Multitool für IoT Schreib-Lese- Kopf für UHF-RFID



Leistungsstark: High-Performance-UHF-RFID-Schreib-Lese-Kopf mit regelbarer Ausgangsleistung bis zu 2 W, bei Bedarf auch mit externen Zusatzantennen

Industrie-4.0-geeignet: OPC UA nach AIM Companion Specification erlaubt direkte Integration in übergeordnete Systeme

Anwendungsoptimiert: zahlreiche Reader-Varianten mit OPC UA, Linux, Windows, CODESYS-Steuerung, Power-over-Ethernet, DXP für Triggersignale etc.

**sps**

smart production solutions

30. Internationale Fachmesse  
der industriellen Automation

Halle 7, Stand 250

[www.turck.de/q300](http://www.turck.de/q300)



**Bild 1** Im Zuge der Modularisierung im Maschinenbau muss sich auch der klassische Schaltschrank anpassen. (Bild: Phoenix Contact)

**Moderne I/O-Systeme tragen dem Wandel im Schaltschrankbau Rechnung**

# Mehr Platz im Schaltschrank

Dem Platzbedarf, den die im Schaltschrank verbauten Komponenten erfordern, kommt eine immer größere Bedeutung zu. Maschinenbauer versuchen daher, die Schaltschrankgröße bei einer steigenden Gerätezahl konstant zu halten oder bei gleichbleibender Komponentenmenge zu reduzieren. Im Zuge der Modularisierung von Maschinen wird der klassische Schaltschrank zudem nicht mehr verwendet, sondern die Geräte stattdessen in kleinen, in die jeweiligen Maschinenmodule integrierten Schaltkästen installiert.

**U**m die Anforderungen hinsichtlich eines geringen Platzbedarfs für eine I/O-Station in Schutzart IP20 zu erfüllen, weisen die neuen „Axioline Smart Elements“ von Phoenix Contact eine hohe Packungsdichte auf. Bei einem

Smart Element handelt es sich um ein kompaktes, steckbares I/O-Element mit einer Baubreite von lediglich 15 mm, einer -höhe von 62 mm und einer -tiefe von 60 mm. An ein Smart Element lassen sich bis zu 16 Leiter anschließen. Aufgrund der Push-in-Technologie erfolgt die Anbindung der Leiter dabei werkzeuglos

und damit in kurzer Zeit, was den Verdrahtungsaufwand deutlich senkt. Durch die alternierende Anordnung der Klemmpunkte und Betätigungsdrücker können auf dem begrenzten Rastermaß von 3,5 mm sogar flexible Leiter mit einem Querschnitt bis maximal 1,5 mm mittels Aderendhülse mit Kunststoffkragen ange-

geschlossen werden. Auf diese Art erweist sich der Spannungsfall selbst auf längeren Leitungen oder bei höheren Strömen vernachlässigbar gering. Über einen Prüfspitzenabgriff, der an jedem Klemmpunkt existiert, kann das Wartungspersonal im Fall einer Störung deren Ursache schnell und zielgerichtet finden sowie beheben.

## Vor-Ort-Diagnose über Status-LEDs

Die Axioline Smart Elements verfügen über keine oder nur über die für die entsprechende Funktion zwingend notwendigen Parameter. Dadurch entfällt eine aufwendige Parametrierung, sodass der Anwender die I/O-Elemente nach dem Plug-and-Play-Prinzip einfach und schnell in Betrieb nehmen kann. Die Default-Werte der eventuell bestehenden Parameter sind dabei so gewählt, dass sich die Verdrahtung und Grundfunktion des Smart Elements bereits direkt nach der Installation ohne Programmierung durch den Monteur testen lassen.

Trotz der hohen Packungsdichte erlauben die Smart Elements wegen der eingebauten Status-LEDs eine Vor-Ort-Diagnose. Zum einen wird der aktuelle Zustand des jeweiligen Kanals und – falls vorhanden – einer Sensorversorgung angezeigt. Auf der anderen Seite signalisieren zwei redundante rote LEDs einen aufgetretenen Peripheriefehler, zum Beispiel den Kurzschluss an einem digitalen Ausgang. Die einmal gesteckten und verriegelten Smart Elements lassen sich werkzeuglos mit Hilfe einer integrierten Ziehhilfe entriegeln sowie aus dem Steckplatz entfernen, in den sie eingeführt worden sind. Auf die Ziehhilfe kann der Anwender eine Betriebsmittelkennzeichnung in Form eines Etiketts aufkleben oder alternativ ein Markierungsschild aufrasten.

## Nachrüstung neuer I/O-Funktionen

Zur Einbindung der Axioline Smart Elements in eine I/O-Station der Produktfamilie Axioline F werden die Smart Elements in eine Axioline F-Backplane gesteckt. Dazu stehen Backplanes mit vier oder sechs Steckplätzen für die Smart Elements zur Verfügung. Aufgrund der zweireihigen Anordnung der Steckplätze reduziert sich die Baubreite der I/O-Station um



**Bild 2** „Axioline Smart Element“ mit 16 Klemmpunkten (links); Alternierende Anordnung der Klemmpunkte (rechts). (Bild: Phoenix Contact)

„ So kann der Maschinenbauer kompakte I/O-Stationen aufbauen, deren Inbetriebnahme sich intuitiv und zeitsparend gestaltet.“



**Bild 3** Ziehhilfe des Axioline Smart Elements mit Markierungsschild. (Bild: Phoenix Contact)

bis zu 25 %, wenn sie einer Station mit gleicher Funktionalität gegenübergestellt wird, die jedoch auf Basis von klassischen I/O-Klemmen realisiert ist. So lassen sich beispielsweise auf einer Breite von 55 mm bis zu 96 digitale Signale erfassen und ausgeben.

Der Anwender kann die Anordnung der Smart Elements frei wählen und den Aufbau der I/O-Station somit optimal an der entsprechenden Applikation ausrichten. Außerdem besteht die Möglichkeit, einen oder mehrere beliebige Steckplätze bewusst freizulassen, da die bei der Maschinenausprägung A gesteckte I/O-Funktion bei der Maschinenausprägung B nicht erforderlich ist. Das erleichtert die Projektierung der I/O-Station, weil die Steckplatznummer der jeweiligen Smart Elements und die Länge der an die Smart Elements angeschlossenen Leitungen unabhängig von der Ausführung der Maschine sind. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass der Maschinenbauer die I/O-Funktionen im Fall einer Änderung bei der Maschinenbestellung einfach und schnell nachrüsten kann. Er muss lediglich das zu ergänzende Smart Element in den freien Steckplatz einfügen. Zwei Smart Elements, die auf einer Breite von nur 15 mm gesteckt sind, können unterschiedliche Funktionen aufweisen. Auf diese Weise müssen keine I/O-Mischmodule genutzt werden, um die Baubreite der Station zu senken. ►



Darüber hinaus verringert der Wegfall der Mischmodule die Variantenvielfalt und damit letztendlich die Lagerhaltungskosten.

## Peripherieversorgung an der Backplane

Da die Axioline F-Backplanes Bestandteil des Produktportfolios der Baureihe Axioline F sind, kann der Maschinenbauer innerhalb der I/O-Station Axioline F-Backplanes und Axioline F-Module frei und flexibel miteinander kombinieren. Eine Station umfasst dabei in Summe bis zu 63 Axioline Smart Elements und Axioline F-Module. Als Stationskopf kommt entweder ein Axioline F-Buskoppler, der für verschiedene Industrial Ethernet-Netzwerke erhältlich ist, oder eine Axioline-Steuerung – zum Beispiel die PLCnext Control AXC F 2152 – zum Einsatz.

Während die Einspeisung der 24-V-Logikspannung am Stationskopf erfolgt und innerhalb der I/O-Station rangiert wird, findet die 24-V-Peripherieversorgung an den Backplanes statt. Eine oberhalb der Klemmpunkte befindliche Diagnose-LED zeigt den aktuellen Status der angeschlossenen Peripheriespannung an. Aufgrund der beiden jeweils intern gebrückten Twin-Klemmen mit Push-in-Technologie lässt sich die Peripherieversorgung werkzeuglos anbinden und auf kürzestem Weg über eine Leitung an die benachbarte Backplane oder das nebenliegende Axioline F-Modul weiterleiten. Durch die Einzelversorgung von Backplanes kann alternativ eine Segmentierung der I/O-Station ohne zusätzliche Module vorgenommen werden, um beispielsweise die Versorgung von digitalen Ausgängen gezielt abzuschalten.

## Fazit

Der Status eines Axioline Smart Elements innerhalb des Axioline F-Lokalbusses der I/O-Station wird pro Steckplatz jeweils über eine dreifarbige Status-LED (D-LED) auf der Axioline F-Backplane visualisiert. So lässt sich die Ursache für eine Störung der Datenkommunikation innerhalb der Station einfach und schnell auffinden und beheben. Die Betriebsmittelkennzeichnung der Backplanes geschieht durch Aufkleben eines Etiketts oder durch Aufrasten eines Markierungsschilds. Als Markierungsschild wird das gleiche Schild



Bild 4 Axioline F-Backplanes mit gesteckten Axioline Smart Elements. (Bild: Phoenix Contact)

## AUTOMATISIERUNG AUS DEM BAUKASTEN

Mit dem I/O-System „Axioline“ in Schutzart IP20 lassen sich nach dem Baukastenprinzip Automatisierungslösungen aufbauen, die die jeweiligen Applikationsanforderungen optimal umsetzen. Als Kopf der I/O-Station fungiert entweder ein Buskoppler, der für verschiedene Industrial Ethernet-Netzwerke erhältlich ist, oder eine dezentrale Steuerung, wie die PLCnext Control AXC F 2152. An den Stationskopf reiht der Anwender dann die blockmodularen I/O-Module der Produktfamilie Axioline F sowie die auf engstem Raum flexibel zusammenstellbaren Axioline Smart Elements an.

Das I/O-Portfolio umfasst neben Digital- und Analogmodulen unterschiedliche Funktionsmodule. Einige Buskoppler und Axioline F-Module stehen zusätzlich als Varianten für besonders raue Umgebungsbedingungen zur Verfügung. Die Auswahl der passenden I/O-Funktionen sowie die Projektierung der I/O-Station erfolgen fehlerfrei und schnell über die Software Project+. Der Axioline-Baukasten ist Bestandteil von Complete line, einem System aus aufeinander abgestimmten Hard- und Softwareprodukten, Beratungsleistungen und Systemlösungen zur Optimierung der Prozesse im Schaltschrankbau.

verwendet, das sich auf der Ziehhilfe der Smart Elements anbringen lässt.

Durch Nutzung der Axioline Smart Elements kann der Maschinenbauer also kompakte I/O-Stationen in Schutzart IP20 aufbauen, deren Inbetriebnahme sich intuitiv und zeitsparend gestaltet – und das auf smarte Weise ohne Kompromisse hinsichtlich Flexibilität, Anschlusskomfort, Leitungsquerschnitt, Diagnose oder Markierung. ■



Dipl.-Ing. (FH) **Thorsten Matthies**  
Produktmanager I/O Systems, Phoenix Contact Electronics GmbH

Kontakt:  
Phoenix Contact Deutschland GmbH  
Flachsmarktstraße 8  
32825 Blomberg  
Tel.: 0 52 35 / 3-1 20 00  
E-Mail: [info@phoenixcontact.de](mailto:info@phoenixcontact.de)  
[www.phoenixcontact.de](http://www.phoenixcontact.de)



**Bild 1** Innerhalb von Rechenzentren vernetzen sich Unternehmen, Cloud- und Service-Provider zu „digitalen Ökosystemen“. Diese erleichtern den ortsunabhängigen, schnellen und sicheren Austausch kritischer Daten zur Umsetzung komplexer IoT-Anwendungen. (Bild: Equinix)

**Rechenzentren ermöglichen die Umsetzung komplexer Industrie 4.0-Anwendungen**

## Die digitale Infrastruktur der Industrie 4.0

Das „Internet of Things“ (IoT) bildet die Basis der Industrie 4.0.

Der Mehrwert solcher Anwendungen liegt vor allem in der deutlichen Steigerung der Effizienz: Eine im Jahr 2015 von McKinsey durchgeführte Studie zum wirtschaftlichen Nutzen von IoT geht davon aus, dass durch IoT-Anwendungen wie beispielsweise Predictive Maintenance bis zu 40 % der Wartungskosten eingespart werden können und Ausfallzeiten um rund 50 % reduziert werden.

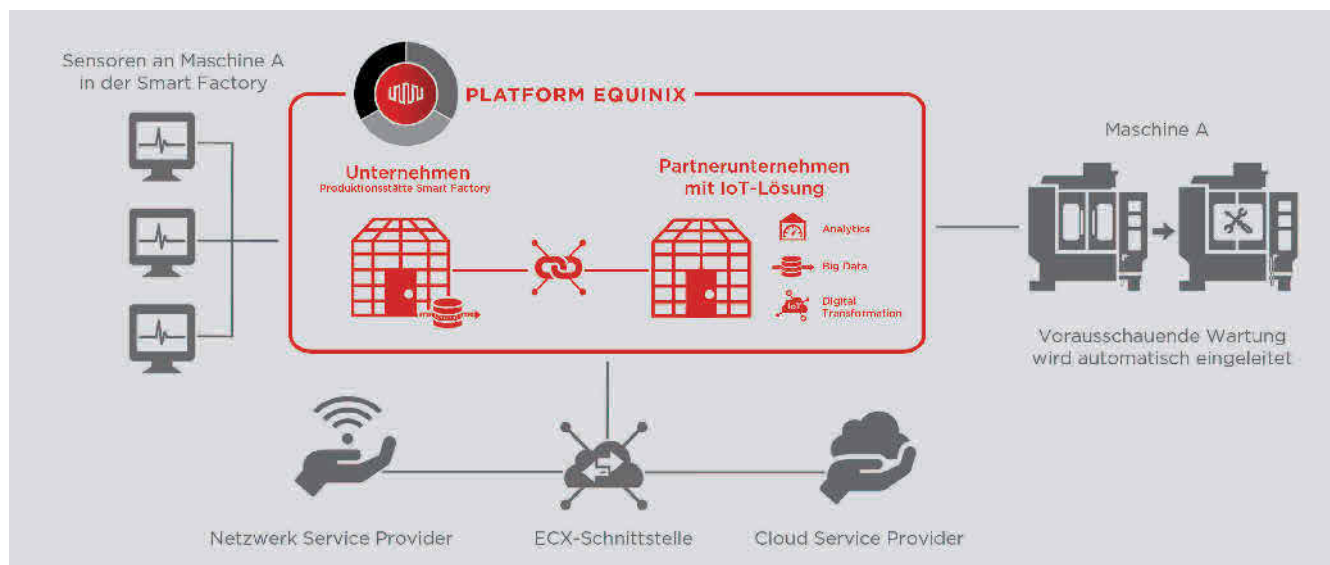
Um diese Prozesse und Effizienzsteigerungen zu realisieren, braucht es jedoch leistungsstarke IT-Infrastrukturen, die das Fundament der Industrie 4.0 bilden.

**D**ie für Industrie 4.0 erforderlichen IT-Infrastrukturen werden durch Akteure wie Netzwerk-service- und Cloud-Provider sowie von Rechen-

zentren bereitgestellt. In der Industrie 4.0 müssen sie zwei zentrale Voraussetzungen erfüllen:

Erstens müssen die IT-Infrastrukturen in der Lage sein, das riesige Volumen an Sensordaten zu sammeln, zu priorisieren

und mit Maschinen, Anwendungen und Partnern zu teilen, die an der Auswertung dieser Produktions- und Maschinendaten beteiligt sind. Die Menge an Daten wird dabei zukünftig wahrscheinlich noch wachsen – vor allem da komplexe An-



**Bild 2** Im Rahmen der Predictive Maintenance nutzen Unternehmen „Interconnection“ innerhalb von Rechenzentren, um kritische Sensordaten direkt mit IoT-Partnern zur Auswertung zu teilen. (Bild: Equinix)

wendungen wie „Digital Twins“ (Digitale Zwillinge) und Predictive Maintenance mehr und mehr zu Standard-Bausteinen der Industrie 4.0 werden. Digitale Zwillinge simulieren dabei basierend auf bereits erhobenen Daten ganze Produktionsanlagen und können geplante Änderungen schnell und ohne Risiko testen. Sie bilden somit den Grundstein der vorausschauenden Instandhaltung in der Maschinen- und Produktionsdaten genutzt werden, um mögliche Defekte zu antizipieren und zu beheben, noch bevor es zu Ausfällen kommen kann. Um den reibungslosen Ablauf solcher Anwendungen zu gewährleisten, müssen die Daten sicher, ortsunabhängig und mit geringen Latenzzeiten übertragen werden können.

Zweitens müssen IT-Infrastrukturen in der Lage sein, eine Vielzahl heterogener Akteure und Komponenten zu integrieren, die in Industrie-4.0-Anwendungen eingebunden sind: Dazu zählen im engeren Sinne vernetzte und mit IoT-Sensoren ausgestattete Maschinen, die miteinander kommunizieren, um Produktions- und Wartungsprozesse zu optimieren. Im weiteren Sinne sind jedoch weit mehr Teilnehmer involviert: IoT-Plattformen, Cloud Service Provider mit entsprechenden Angeboten sowie Spezialisten für Big Data und Machine Learning tragen entscheidend zur Umsetzung konkreter Lösungen bei.

Gerade im Mittelstand stoßen Industrieunternehmen, die auf eigene IT-Kapazitäten setzen, hier schnell an ihre

Grenzen: Zum einen verfügen viele Unternehmen nicht über die nötigen Data-Analytics-Kapazitäten, um Sensordaten gewinnbringend auszuwerten. Laut einer 2018 durchgeführten Umfrage der Pierre Audoin Consultants (PAC), die von dem Rechenzentrumsbetreiber Equinix unterstützt wurde, sahen dies 72 % der befragten europäischen Unternehmensentscheider als Problem. Weiterhin ist der Aufbau eigener IT-Kapazitäten nicht flexibel skalierbar und mit hohen Investitions-

## Leistungsstarke IT-Infrastrukturen bilden das Fundament der Industrie 4.0.

und Personalkosten sowie eingeschränkter Interoperabilität verbunden. Auch die Datenübertragung über das öffentliche Internet bietet nicht die nötige Ausfall- und Zugriffssicherheit und die niedrigen Latenzzeiten bei der Datenübertragung, um Anwendungen wie Predictive Maintenance umzusetzen.

### Die Rolle von Rechenzentren in der Industrie 4.0

Um diesen wachsenden Anforderungen gerecht zu werden, greifen Unternehmen deshalb vermehrt auf die Expertise exter-

ner Anbieter zurück und siedeln ihre IT-Infrastrukturen dort an, wo sie effizient Verbindungen mit externen Partnern und Services herstellen können: beispielsweise in externen Rechenzentren.

Einerseits bieten Rechenzentren zusätzliche flexibel skalierbare IT-Kapazitäten, die komplexe Big Data-Auswertungen von IoT-Daten ermöglichen. Die Auswertung der Daten erfolgt hier in der Regel je nach Echtzeitanforderung in einem zweistufigen Prozess: Dabei wird der Teil der Daten, der für Echtzeit-Prozesse relevant ist, direkt vor Ort, also an der sogenannten „Digital Edge“ priorisiert und verarbeitet. Relevante Daten und Messwerte, die etwa der langfristigen Verbesserung von Anwendungen wie der Predictive Maintenance dienen, werden hingegen an externe Rechenzentren übermittelt und dort über Public Cloud-Dienste mit IoT-Partnern zur Analyse und Modellbildung geteilt. Hohe Datenmengen und hohe Datenraten im Bereich von bis zu 4 GBit/s pro Maschine werden für gewöhnlich direkt vor Ort verarbeitet. Nur was außerhalb des Standards ist, wird zentral erfasst. Das entlastet Datennetze und vermeidet hohe Latenzen.

Vor allem aber ermöglichen Rechenzentren die Umsetzung komplexer Industrie 4.0-Anwendungen, indem sie eine neutrale Plattform bereitstellen über die sich Unternehmen, IoT-Partner sowie Cloud- und Netzwerkservice-Provider miteinander vernetzen. Rechenzentren stellen dabei mittels „Interconnection“



(Zusammenschaltung von Netzwerken) schnelle, sichere und ortsunabhängige Verbindungen zwischen verschiedenen Akteuren her. Interconnection funktioniert dabei wie ein „zweites Internet“ und basiert auf direkten, privaten Verbindungen innerhalb des Rechenzentrums. Solche branchenspezifischen privaten Netzwerke formen umfassende „digitale Ökosysteme“, deren Teilnehmer von der Expertise hunderter potenzieller Partner profitieren. Sie fungieren so als Katalysator für Innovationen und Wachstum im Bereich Industrie 4.0.

### Fallbeispiel: Schienenwartung durch IoT

Die Funktionsweise einer solchen IT-Infrastruktur wird am Beispiel der vorausschauenden Wartung von Schienennetzen durch Siemens deutlich: Als Anbieter technischer Lösungen im Schienenverkehr hat Siemens früh auf digitale Anwendungen gesetzt und mit Siemens Mobility Data Services ein eigenes Kompetenzzentrum für die digitale Schienenwartung aufgebaut. Siemens nutzt dazu Daten von mehr als 300 an Zügen angebrachten Sensoren in Kombination mit historischen Informationen, um Defekte im Gleisnetz zu antizipieren. Dieser IoT-Ansatz – auch „Internet of Trains“ genannt – ermöglicht eine kosteneffiziente Wartung mit reduzierten Ausfallzeiten für Fahrgäste und Zugführer. Gleichzeitig bringt diese Anwendung jedoch auch große Volumen an Sensordaten mit sich, die jeweils übertragen, priorisiert und ausgewertet werden müssen. Da diese Daten von Schienennetzen in unterschiedlichen europäischen Staaten stammen, ist es zudem eine zentrale Voraussetzung, dass technische Daten jeweils regelkonform und kosteneffizient gespeichert werden können.

Um die Wartung europäischer Schienennetze effizient, vorausschauend und gemäß regulatorischer Anforderungen an die Datenverarbeitung und Speicherung zu gestalten, nutzte Siemens daher die Services des Cloud- und Data Analytics-Spezialisten Teradata. Equinix stellte dabei über seine Rechenzentren eine neutrale Plattform für beide Unternehmen bereit, sodass Siemens Sensordaten zur Auswertung an Teradata übermitteln konnte und so von den externen Data Analytics-Kapazitäten des Partners profitierte. Gleichzeitig boten sich für Teradata

mittels Interconnection direkte Verbindungen zu führenden Cloud und Netzwerk-Providern. Auf diese Weise wurde die Verfügbarkeit der Daten in Echtzeit gewährleistet. Ein global verteiltes Netzwerk aus Rechenzentren ermöglichte zudem die schnelle Skalierbarkeit der Lösung.

Interconnection wird zunehmend zur Standardlösung für Unternehmen aus Industrie, Handel und IT, um die wachsenden Datenmengen zu bewältigen und komplexe Anwendungen wie Predictive Maintenance gemeinsam mit Partnern umzusetzen. So gaben in einer von Equinix durchgeführten Umfrage, die im Rahmen der jährlichen Marktstudie „Global Interconnection Index“ erhoben wurde, 60 % der befragten IT-Entscheider

an, dass Interconnection eine wichtige Rolle für das langfristige Fortbestehen des eigenen Geschäfts darstellt. Ganze 90 % gaben sogar an, Interconnection verschaffe ihnen auf dem Markt einen Wettbewerbsvorteil. ■



**Dietmar Kessler**  
Marketing Director DACH & Italy, Equinix

Kontakt:  
Equinix GmbH  
Kleyerstrasse 88–90  
60326 Frankfurt  
Tel.: 0 69 / 9 20 42-0  
E-Mail: servicedesk.de@eu.  
equinix.com  
www.equinix.de  
Bild: Equinix

**Genießen Sie Ihren Tag  
auf der Messe!**



**KUNSTSTOFF  
PRODUKTE  
AKTUELL**

Die branchenübergreifende Plattform  
für Beschaffung und Produktdesign

**Jetzt kostenlose Tickets sichern**  
mit dem Online-Code: **kpa20-konUM**

**10. – 11.03.2020**  
**Messe Ulm**

**www.kpa-messe.de**



**Bild 1** Gleichspannungsnetze mit einer zentralen Wandlung könnten als energiesparende Alternative insbesondere für Antriebe in der Produktion etabliert werden. (Bild: Lapp)

**Gleichstrom ist die Zukunft – vor der Umstellung ist aber noch Entwicklungsarbeit zu leisten**

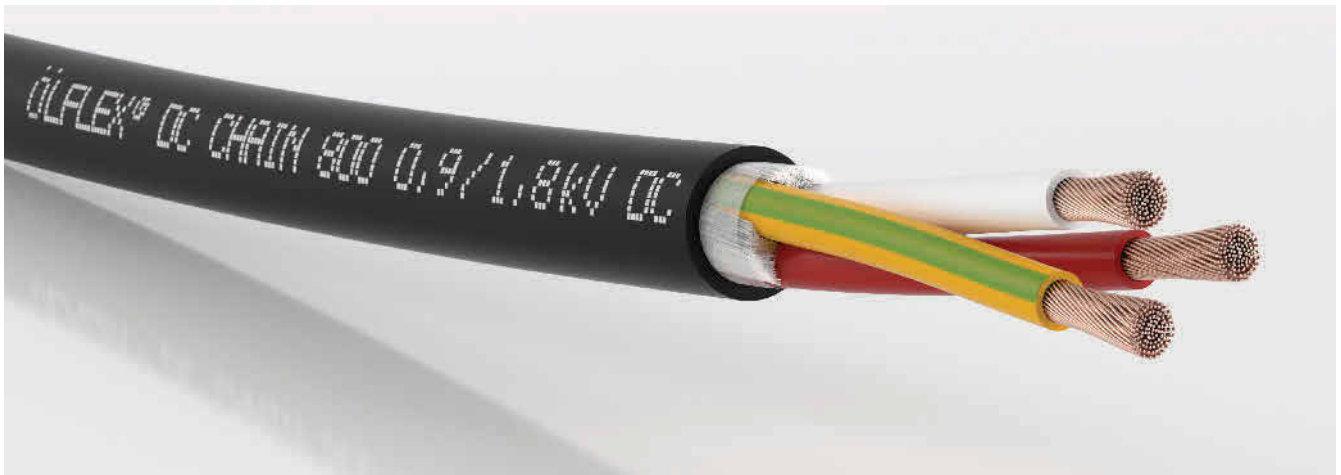
# Energieversorgung mit Gleichstrom sichern

Der Energieverbrauch der Menschheit steigt unaufhörlich. Um diesen zu stillen, müssen Technologien entwickelt werden, die effizienter Energie nutzen. Nach Ansicht vieler Experten hat die Energieversorgung mit Gleichstrom dieses Potenzial. Allerdings sind noch viele technische Fragen ungeklärt. Lapp ist aktiv an den Forschungsarbeiten beteiligt.

**D**ass die Energieversorgung mit Gleichstrom (DC) derzeit Wissenschaftler und Technik-Experten umtreibt, zeigte sich unter anderem auf der Hannover Messe 2019: Der Zentralverband Elektrotechnik-

und Elektronikindustrie ZVEI widmete allein diesem Thema gleich einen ganzen Pavillon. Und Lapp, Marktführer für integrierte Kabel- und Verbindungssysteme und Partner im Forschungsprojekt DC-Industrie, präsentierte erste Gleichstrom-Produkte im „futureLab“.

Die Beteiligten am Forschungsprojekt „DC-Industrie“ suchen Antworten auf Fragen der technischen Machbarkeit und der Umsetzung. Zum Beispiel: Wie können sich Gleichspannungsnetze mit zentraler Wandlung als energiesparende Alternative vor allem für Antriebe in der Produktion etablieren? Wie lassen sich



**Bild 2** Die „Ölflex DC CHAIN 800“ hat eine Isolierung aus TPE. (Bild: Lapp)

regenerative Energien besser einbinden? Wie wirkt sich Gleichstrom auf Leitungsisolationen aus, und lassen sich Wechselstromleitungen auch für den Transport von Gleichstrom nutzen? Das Forschungsprojekt war offiziell bis September 2019 terminiert. Das Nachfolgeprojekt DC-Industrie2 ist im Oktober gestartet. Lapp ist hier geförderter Partner und erforscht die Langzeitstabilität von Isolationsmaterialien für Kabel und Leitungen.

## Gleichspannung birgt große Einsparpotenziale

Die Energieversorgung mit Gleichspannung gilt als unverzichtbar, soll die Energiewende gelingen. Denn die Umstellung basiert auf zwei wesentlichen Elementen: Zum einen muss möglichst viel – auf Gleichstrombasis erzeugte – regenerative Energie wie Solar- und Windstrom in die Netze gelangen. Zum anderen muss der Umgang mit Energie effizienter werden. Und genau das ist durch die Energieversorgung mit Gleichspannung möglich. Deren effizienzsteigerndes Potenzial liegt vor allem darin, dass die Verluste wegfallen, die heute bei der Umwandlung zwischen AC und DC und umgekehrt entstehen.

Schon heute gibt es in der Automobilindustrie Pilotprojekte mit dem Ziel, ganze Fertigungseinheiten ausschließlich mit Gleichstrom zu versorgen. Dabei setzen die beteiligten Unternehmen auch Batterien zum kurzzeitigen Speichern von Energie ein.

Ein weiterer Aspekt der Versorgung mit Gleichstrom ist die Rückspeisung

beispielsweise von Bremsenergie aus Antrieben ins DC-Netz oder – wie bei Elektro- oder Hybrid-Autos – in Batterien. Diese geben die zwischengespeicherte Energie wieder ab, wenn der Antrieb wieder beschleunigt. Auch Verbraucher mit hohem Leistungsbedarf wie etwa Schweißgeräte lassen sich auf diese Weise mit Gleichstrom versorgen. Das hat deutliche Vorteile: Produktionsbetriebe, die diese Technologie nutzen, können so Lastspitzen kappen anstatt kurzzeitig

„Die  
Energie-  
versorgung mit  
Gleichspannung gilt  
als unverzichtbar,  
soll die Energie-  
wende ge-  
lingen.“

hohe Energiemengen aus dem Netz zu beziehen. Das dient der Netzstabilisierung. Und es senkt die Kosten.

Natürlich können auch Haushalte von der Versorgung mit Gleichspannung profitieren. Allein schon, weil immer mehr elektrische Verbraucher mit Gleichstrom arbeiten. Das betrifft zum Beispiel LED-Leuchten oder Elektrofahrzeuge, deren Zahl in den kommenden Jahren deutlich zunehmen dürfte. Der Gleichstrom, den diese Verbraucher nutzen, muss derzeit

noch aus dem Wechselstrom aus der Steckdose umgewandelt werden.

## Fabrik auf Gleichstrombasis

Immer mehr Anlagen – allen voran Photovoltaik-Anlagen – speisen heute Gleichstrom ins Stromnetz ein. Dennoch glaubt Georg Stawowy, Vorstand der Lapp Holding AG für Technik und Innovation, nicht, „dass man in absehbarer Zeit DC in der Endverbraucher-Infrastruktur sehen wird.“ Grund sei das „Henne-Ei“-Problem: Wann und von wem kann man einen Gleichstrom-Kühlschrank kaufen? Und – noch wichtiger: Baut mein Energieversorger eine Gleichstromtrasse zu meinem Haus? Wenn es um den Bau einer neuen Fabrik gehe, könnte das durchaus möglich werden, für ein einzelnes Privathaus wohl eher nicht.

Dass Gleichstrom im Laufe der nächsten Jahre an Bedeutung für die Energieversorgung gewinnt, darüber herrscht Einigkeit unter den Experten. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten dazu jedenfalls laufen auf Hochtouren.

Das nächste Forschungsprojekt startet in Kürze. Dabei wird Lapp als geförderter Partner die Langzeitstabilität von Isolationsmaterialien für Kabel und Leitungen erforschen. Georg Stawowy: „Das Thema Gleichstrom für die Industrie nimmt enorm Fahrt auf – was mich nicht überrascht, denn das Potenzial zur Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparung ist enorm.“

Die Mitwirkung von Lapp am bereits erwähnten Forschungsprojekt DC-Industrie bezog sich auf die Kabel. Dafür hat Lapp Kabel geliefert, die zuvor vom Kon-



sortium spezifiziert worden waren. Daraus und aus einer Forschungskoope-  
ration mit der TU Ilmenau sind unter  
anderem Serienprodukte für DC-Anwen-  
dungen entstanden, die inzwischen zum  
Portfolio von Lapp gehören.

## DC-Leitungen sind bereits verfügbar

Die „Ölflex DC 100“ etwa ist die erste  
eigens für Gleichstrom konzipierte Lei-  
tung auf dem Markt. Die Farbcodierung  
der Adern folgt der im Februar 2018  
aktualisierten Norm DIN EN 60445  
(VDE 0197):2018-02 für Gleichstrom-  
leitungen: rot, weiß und grün-gelb. Die  
Adern sind mit Spezial-PVC isoliert, der  
Mantel besteht aus PVC.

Auch die „Ölflex DC Servo 700“, eine  
DC-Anschlussleitung mit Isolierung aus  
Spezial-PVC, und die „Ölflex DC Chain  
800“ für Energieführungsketten gehören  
zu den zukunftsweisenden Gleichstrom-  
produkten von Lapp. Darüber hinaus hat  
das Unternehmen eine Leitung für das  
DC-Industrie-Konsortium entwickelt: die  
Ölflex DC 100 Hybrid. Sie enthält zwei  
Adern zur Leistungsübertragung plus einen  
Schutzleiter, eine Cat.6A-Datenleitung mit  
vier geschirmten Aderpaaren, zwei Adern  
für Safe Torque Off (Not-Aus) sowie ein  
Steuerpaar mit 24 Volt für die Bremse.

Unter Kennern der Materie herrschte  
bis dato die Meinung vor, Wechselspan-

nungsleitungen der Niederspannung eig-  
neten sich problemlos auch für Gleich-  
spannung. Vermutlich aufgrund dieser  
Annahme gab es dazu bisher keinerlei  
Forschungsergebnisse. Dass dies so nicht  
zutrifft, belegen jetzt allerdings neue  
Langzeittests, die an der Technischen  
Universität Ilmenau von der Forschungs-  
gruppe im Fachgebiet „Elektrische Geräte  
und Anlagen“ unter Prof. Frank Berger  
durchgeführt wurden.

## Verändertes Alterungsverhalten unter Gleichspannung

Das Team um Prof. Berger hat Einzel-  
adern 2590 Stunden lang mit verschie-  
denen Isolationsmaterialien in einem  
Wasserbad bei 80 °C mit 1 kV Gleich-  
spannung belastet, um die Auswirkungen  
im Zeitraffer nachzuvollziehen. Die For-  
schungsergebnisse zeigen, dass ein Gleich-  
spannungsfeld eine andere Wirkung auf  
das Alterungsverhalten von Isolations-  
materialien hat als ein Wechselspannungs-  
feld. Genau das hatten bislang viele  
Experten bestritten. Die Prüfapparaturen  
sowie die Leitungen für die Tests hatte  
Lapp zur Verfügung gestellt.

Das Team um Prof. Berger setzt seine  
Forschungen fort mit dem Ziel, belastbare  
Aussagen treffen zu können. Geplant sind  
unter anderem Alterungstests ohne Was-  
serbad, die dann allerdings über einen

längeren Zeitraum laufen müssen. Darü-  
ber hinaus wollen die Wissenschaftler die  
chemischen und physikalischen Prozesse  
verstehen, die im Kunststoff ablaufen.  
Mögliche Ursachen für schnelleres Altern  
könnten der Abbau des Polymers, das  
Aufquellen im Wasser, das Herauslösen  
von Additiven oder die Bildung von  
„Water Trees“ sein.

Trotz der noch ungeklärten Fragen  
sehen viele Experten keinen Grund, auf  
Leitungen mit PVC-Isolation in Gleich-  
spannungsanwendungen solange zu ver-  
zichten, bis belastbare Daten vorliegen.  
Allerdings sollte sichergestellt sein, dass  
die Leitungen fest verlegt werden – also  
bewegungsfrei – und dass die mecha-  
nische Belastung etwa durch enge Biege-  
radien gering gehalten wird. Außerdem  
sollte die Umgebung stets trocken sein.  
Solange diese Voraussetzungen nicht ge-  
geben sind, etwa im bewegten Einsatz in  
Energieketten, können Anwender andere  
Isolationsmaterialien einsetzen. TPE zum  
Beispiel hat die Prüfungen im Wasserbad  
ausgezeichnet überstanden. ■

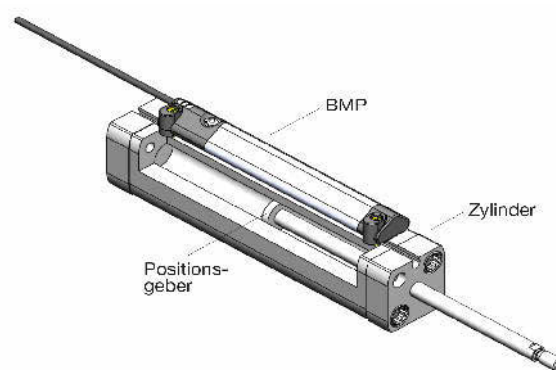
**Kontakt**  
U.I. Lapp GmbH  
Schulze-Delitzsch-Straße 25  
70565 Stuttgart  
Tel.: 07 11 / 78 38-01  
E-Mail: info@lappkabel.de  
www.lappkabel.de

## Intelligentes Positionsmesssystem für absolutes Linearfeedback

Mit der Baureihe BMP hat Balluff jetzt einen intelligenten Weg-  
sensor im Programm, der neben dem absoluten Positionssignal  
für den Hubweg eines Kolbens über IO-Link auch Informationen  
zum Sensorstatus und zu den aktuellen Umgebungsbedingungen  
liefern kann.

Er überwacht zum Beispiel die Sensor-Temperatur, die Anzahl der  
Startvorgänge und gibt Warnungen aus, wenn ein einstellbarer  
Grenzwert überschritten ist. Ein interner Zähler erfasst perma-  
nent die Betriebsstunden über die gesamte Lebensdauer, seit der  
letzten Wartung und dem letzten Einschalten. So kann ein eventu-  
ell notwendiger Austausch für das nächste Serviceintervall ge-  
plant werden.

Die integrierte IO-Link-Schnittstelle bietet zudem Flexibilität; sie  
ermöglicht durch zeitsparende Parametrierfunktionen beispiels-  
weise schnelle Formatwechsel. Der magnetische und damit  
berührungslos arbeitende, verschleißfreie Sensor ermittelt konti-  
nuierlich die absolute Position eines Kolbens, ist mit nahezu allen  
Zylindertypen kompatibel und rasch montiert. Bevorzugte Ein-  
satzbereiche finden sich dort, wo die exakte Ausführung eines



Der Wegsensor BMP von Balluff an einem Zylinder mit C-Nut. (Bild: Balluff GmbH)

definierten Kolbenhubs maßgeblich über die Prozess- und Pro-  
duktqualität entscheidet, beispielsweise im Montage-, im Hand-  
lingbereich und in der Fabrikautomation.

Balluff GmbH, [www.balluff.com](http://www.balluff.com)

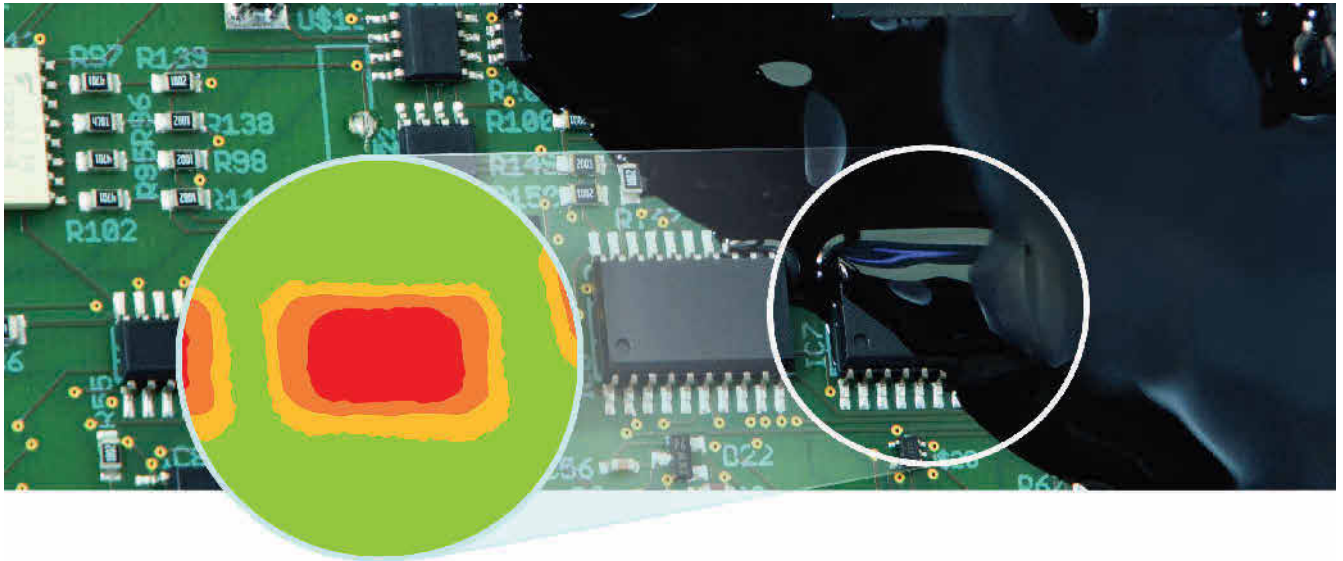


Bild 1 Schützen bis zu 250 °C vor aggressiven Medien: Hochtemperatur-Vergussmassen mit Spezialhärtern. (Bild: Delo)

Sichere Elektronikfertigung mit leistungsfähigen Vergussmassen

# Trends beim Verguss elektronischer Anwendungen

Miniaturisierung als übergreifender Trend, immer stärkere Leistungselektronik und die Forderung nach mehr Effizienz in der Produktion sind die wichtigsten Triebfedern für leistungsfähigere Vergussmassen im Highend-Segment.

Die Klebstoffindustrie hat darauf mit zahlreichen Neuentwicklungen reagiert, die zunehmend im Markt Verbreitung finden.

**W**enn thermische, mechanische und chemische Einflüsse steigen, kommen fast ausschließlich Epoxidharze zum Einsatz. Aber hier gilt: Epoxidharz ist nicht gleich Epoxidharz: So werden für allerhöchste Zuverlässigkeitsanforderungen Epoxidharze mit ganz speziellen Härtern genutzt, die für eine besonders enge Vernetzung der Klebstoffmoleküle sorgen. Dadurch erhalten die Vergussmassen eine so hohe Temperatur- und Medienbeständigkeit, dass sie auf Dau-

er in heißem Getriebeöl oder anderen aggressiven Medien eingesetzt werden können.

## Vergussmassen für bis zu 250 °C

Die Temperaturanforderungen an Elektronikkomponenten sind zuletzt in vielen Bereichen gestiegen. Das ist etwa bei Autosensoren oder Ölbohrerquipment der Fall und besonders in der Leistungselektronik. Schließlich fließen hier in immer kleineren Baugruppen immer stärkere Ströme, so dass die Stauwärme zunimmt.

Aufgrund dieser Entwicklungen ist der Temperatureinsatzbereich bisheriger hochzuverlässiger Vergussmassen von 180 °C nicht immer ausreichend. Neue Entwicklungen konnten dagegen diese Grenze um bis zu 70 °C nach oben verschieben und lassen sich in einem Temperaturbereich von – 65 °C bis 250 °C einsetzen.

Außer der weiterhin hohen Medienbeständigkeit bieten diese Hochtemperatur-Vergussmassen eine universelle Haftung, ein hohes Festigkeitsniveau und – trotz des hohen Grads an Füllstoffen – solide Verarbeitungseigenschaften sowie ein gutes Fließverhalten.

So zeigen sie selbst nach 500 Stunden Lagerung bei 250 °C eine Zugfestigkeit von 50 MPa. Neben der hohen Temperaturbeständigkeit weisen sie auch eine hohe Verbundfestigkeit bei Temperaturen von über 200 °C auf. Nach einer Lagerung von 500 Stunden bei 250 °C wird bei einer Messtemperatur von 220 °C eine Druck-scherfestigkeit von 8 MPa auf Keramik erreicht. Das entspricht 800 N/cm<sup>2</sup>.

### Lichtfixierung für höhere Klebgenauigkeit und definierten Verguss

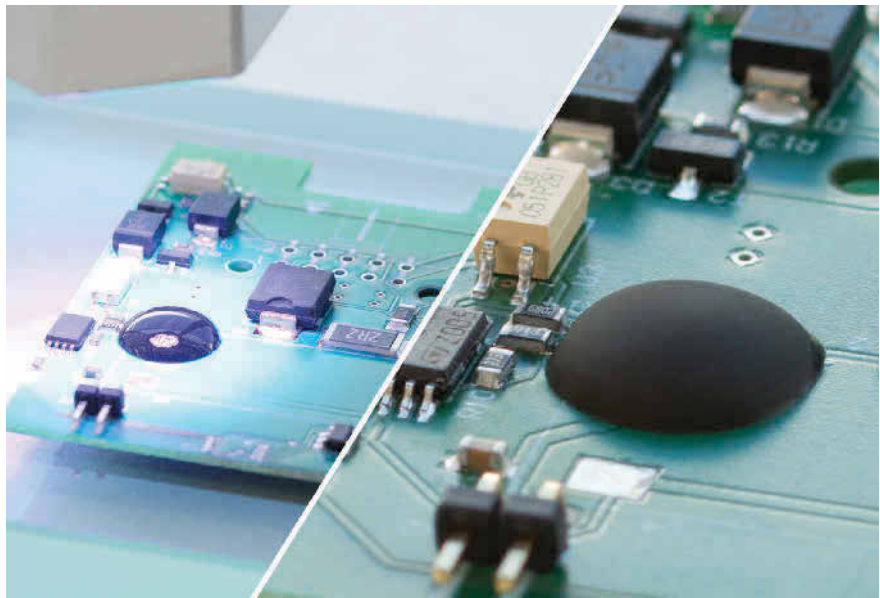
Egal ob mit einem Temperatureinsatzbereich von 180 °C oder 250 °C, Klebstoffe und Vergussmassen für den Highend-Bereich waren bislang nur rein warmhärtend verfügbar, da die speziellen Härter erst bei Temperaturen von mindestens 100 °C aufgeschmolzen werden müssen, bevor sie mit dem Harz reagieren können.

Eine Warmhärtung ist auch bei seit kurzem verfügbaren dualhärtenden Vergussmassen erforderlich. Zusätzlich ermöglichen diese Hybridprodukte jedoch eine initiale Lichtfixierung, was zu einer höheren Klebgenauigkeit, einer definierten Kehl-naht sowie einem leichteren Handling der fixierten Komponenten führt.

Zudem lässt sich damit bei einem „Glob Top“-Verguss – einem runden Verguss zum Schutz eines Chips – ein „Einfrieren der Form“ erreichen, da die Ausbildung einer Haut ein Verfließen der Vergussmasse während des Warmhärtens verhindert. So ist ein definierter Glob Top-Verguss selbst dann möglich, wenn aufgrund der zunehmenden Miniaturisierung nur wenig Platz auf einer Leiterplatte vorhanden ist. Durch die Lichtfixierung kann – im Vergleich zu dem alternativen Dam & Fill-Verfahren – ein Prozessschritt eingespart werden.

Bei der zweistufigen Aushärtung wird der Klebstoff zunächst je nach Intensität der LED-Lampe in 1–5 Sekunden fixiert. Auf dem typischen Leiterplattenmaterial FR4 erreicht er damit eine Die-Scherfestigkeit von mehr als 1 N. Die volle Festigkeit von 50 MPa auf FR4 erhält der Klebstoff nach der Warmhärtung von zum Beispiel 30 Minuten bei 150 °C.

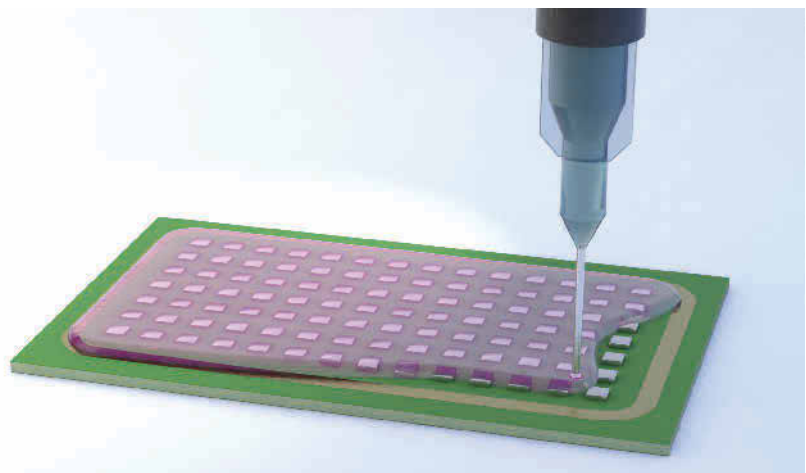
Lichtfixierbare Epoxidharze zeigen eine universelle Haftung und lassen sich aufgrund des thixotropen Fließverhaltens gut verarbeiten. Wegen ihres hybriden chemischen Charakters liegt die Temperatur-



**Bild 2** Lichtfixierung im Hochzuverlässigkeitsbereich eröffnet viele Möglichkeiten. (Bild: Delo)



**Bild 3** Ermöglicht den Bau filigraner Strukturen um Chips oder Sensoren: Dam-Klebstoff für die Elektronik. (Bild: Delo)



**Bild 4** Großflächiger Verguss einer Leiterplatte. (Bild: Delo)



einsatzgrenze etwas niedriger als bei den absoluten Hochtemperatur-Vergussmassen, aber immer noch bei sehr guten 180 °C. Auch die Medienbeständigkeit ist weiterhin äußerst hoch: Selbst 500 Stunden Lagerung in aggressiven Medien wie Getriebeöl, Benzin oder Methanol haben kaum Auswirkungen auf die mechanischen Eigenschaften. Auch gegen Drucktinten, die die meisten Klebstoffe angreifen, zeigen diese Produkte eine hohe Beständigkeit.

## Klebstoffraupen stapeln und filigrane Strukturen bauen

Eine weitere Antwort auf zunehmend miniaturisierte Designs in Kombination mit hohen Zuverlässigkeitsanforderungen sind speziell für Automotive- und Industrieanwendungen konzipierte „Dam“-Vergussmassen, die sehr dünnwandig und gleichzeitig extrem hoch dosierbar sind.

Möglich ist dies dank kleinerer Füllstoffe als bei bisherigen Dam-Produkten, sodass sich diese Vergussmassen durch Nadeln mit einem Durchmesser von minimal 250 µm applizieren lassen. Zudem haben sie wegen einer ausgesprochen hohen Viskosität von bis zu 160 000 mPas eine hohe Standfestigkeit. Diese ermöglicht ein Aspektverhältnis von 2,5, das heißt eine Klebstoffraupe kann mehr als doppelt so hoch wie breit dosiert werden, ohne dass sie umfällt.

**„Somit erlaubt der leicht zu verarbeitende Klebstoff die Konstruktion von filigranen Strukturen.“**

Somit erlaubt der leicht zu verarbeitende Klebstoff die Konstruktion von filigranen Strukturen – etwa hohe Trennwände zwischen zwei Sensoren –, die wenig Platz in der Breite beanspruchen. Das als „Dam Stacking“ bezeichnete Stapeln der Klebstoffraupen ist ohne Zwischenhärtungen möglich, was den Produktionsprozess vereinfacht.

Auch diese hoch dosierbaren Dam-Produkte verfügen über eine sehr gute Medienbeständigkeit gegenüber Säuren, Ölen und anderen aggressiven Medien und zeigen nur eine geringe Wasser-

aufnahme. Sie eignen sich für den Einsatz in einem Temperaturumfeld von bis zu 200 °C. So wird bei Raumtemperatur auf FR4 eine Druckscherfestigkeit von 49 MPa erreicht und dieser Wert fällt selbst nach 500 Stunden Lagerung bei 200 °C kaum ab und liegt immer noch bei 43 MPa.

Ein niedriger Wärmeausdehnungskoeffizient (CTE) von 24 ppm/K sorgt dabei in Verbindung mit der hohen Glasübergangstemperatur von 180 °C für einen geringen Verzug über einen weiten Temperaturbereich. Spannungen im Package werden damit minimiert.

Die Dam-Klebstoffe sind rein warmhärtend oder dualhärtend für noch mehr Standfestigkeit verfügbar. Dieser Prozess kann flexibel gesteuert werden und zum Beispiel in 20 Minuten bei 150 °C oder in 90 Minuten bei 125 °C erfolgen. Da der Klebstoff dabei nicht verfließt, bleibt das Aspektverhältnis unverändert. Die Höhe der Klebstoffraupe ändert sich also nach dem Warmhärtens nicht.

## Geringer Verzug ermöglicht großflächigen Chip-Verguss

Auch bei Anwendungen, die eine höchste Zuverlässigkeit erfordern, spielt die kostengünstige Fertigung eine immer größere Rolle. Sowohl bei der Chipfertigung, als auch bei der Weiterverarbeitung der Chips gibt es einen starken Trend zur Rationalisierung, etwa beim „Chip“-Verguss. So platzieren immer mehr Hersteller eine Vielzahl gleicher Bauelemente auf einer Leiterplatte, die dann komplett vergossen und anschließend vereinzelt werden. Oder sie vergießen komplett bestückte Leiterplatten vollständig, anstatt ein Gehäuse zum Schutz vor Umwelteinflüssen zu verwenden.

Ein großflächiger Verguss verkürzt die Prozesszeit deutlich und bietet großes Einsparpotenzial. Doch dieser Ansatz hatte in der Praxis oft Grenzen. Bei Anwendungen mit hohen chemischen und thermischen Anforderungen kam es beim großflächigen Verguss bislang zu einem Verzug der Leiterplatte während des Aushärtens. Das führte zu Spannungen in den Bauelementen und erschwerte das Vereinzeln der Packages mittels Sägen. Ein solcher Verzug ist das Ergebnis unterschiedlicher Ausdehnungskoeffizienten von Leiterplatten (10–20 ppm/K) und Vergussmassen (meist mehr als 20 ppm/K).

Inzwischen wurden daher optimierte Vergussmassen für den Hochzuverlässig-

keits-Bereich entwickelt, die mit 11 ppm/K einen besonders niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzen. Ein Verzug wird damit minimiert. Diese Vergussmassen eignen sich daher bestens für einen großflächigen und damit sehr effizienten Chip-Verguss.

Sie sind zusätzlich in fluoreszierenden Modifikationen erhältlich, womit sich die Möglichkeit ergibt, das Dosierbild und die zuverlässige Abdeckung von Bauteilen vor dem Aushärten der Vergussmasse zu detektieren. Insbesondere bei werthaltigen Bauteilen dürfte diese Option interessant sein.

Die obere Temperatureinsatzgrenze dieser Produkte liegt aktuell bei 165 °C, bei weiterhin hervorragender Beständigkeit gegenüber Medien und Feuchtigkeit. Zudem bieten sie ausgezeichnete Fließeigenschaften auch ohne Substratheizung und ermöglichen einen „Dam & Fill“-Prozess. Die Aushärtungsparameter auch dieser Vergussmassen lassen sich variabel einstellen: So ist ein schnelles Aushärten in bis zu 20 Minuten bei 150 °C möglich oder es kann eine niedrige Aushärtungstemperatur von 100 °C bei einkomponentigen Produkten gewählt werden oder von 125 °C im Fall von zweikomponentigen Systemen. Damit lassen sich auch Bauteile, die temperaturempfindlicher sind, zuverlässig aushärten.

## Fazit

Temperaturen von bis zu 250 °C, hohe mechanische Belastungen, dauerhafter Kontakt mit aggressiven Medien: Highend-Vergussmassen spielen eine entscheidende Rolle, um sensible elektronische Komponenten auch unter anspruchsvollsten Umgebungsbedingungen zu schützen. Dank zahlreicher neuer Entwicklungen können Anwender auf die steigenden Anforderungen aus der Leistungselektronik und die zunehmende Miniaturisierung reagieren und gleichzeitig für mehr Effizienz in der Fertigung sorgen. ■



**Karl Bitzer**  
Gesamtleiter Produktmanagement, Delo

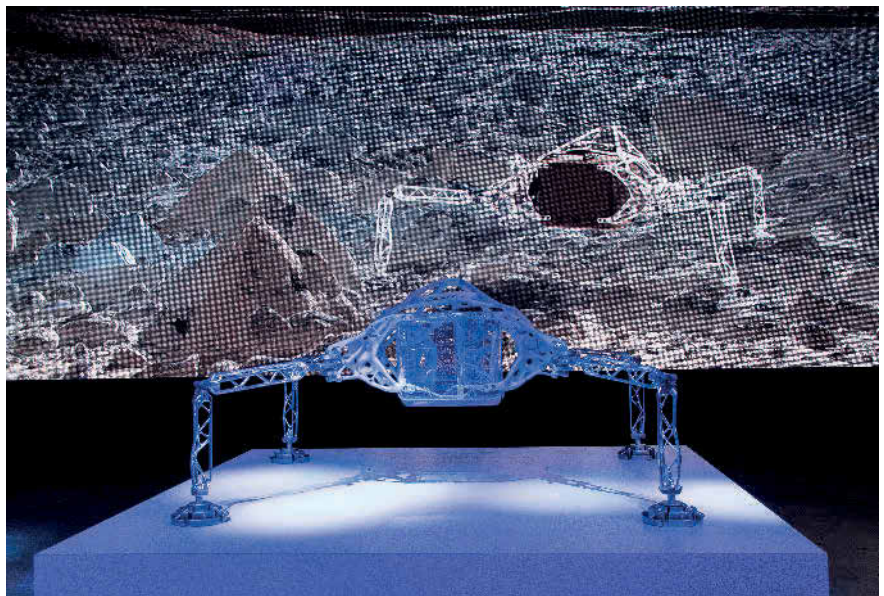
Kontakt:  
Delo Industrie Klebstoffe  
GmbH & Co. KGaA  
Delo-Allee 1  
86949 Windach  
Tel.: 0 81 93 / 99 00-0  
E-Mail: info@delo.de  
www.delo.de

Generatives Design ermöglicht Gewichtseinsparungen beim Raumfahrt-Lander

# Masse um 35 Prozent reduziert

Um den Herausforderungen an einen Raumfahrt-Lander – also eine Art Fahrzeug zur Erkundung von Planeten – gerecht zu werden, haben Autodesk und das Jet Propulsion Laboratory der NASA ein gemeinsames Forschungsprojekt gestartet: Mithilfe von Generativem Design konnten sie die Masse der äußeren Struktur des Landers um 35 Prozent reduzieren. In der Vergangenheit hatte die NASA rollende Fahrzeuge eingesetzt. Der Entwurf des laufenden Landers mit vier Beinen ist eine der kompliziertesten Konstruktionen, die jemals mit Generativem Design erstellt wurden.

Im Jahr 2012 beobachtete die Welt, wie der Curiosity-Rover per Fallschirm auf dem Mars landete und damit begann Proben zu sammeln. Die zurückgesandten Daten und Bilder halfen dabei, mehr über den roten Planeten und die Möglichkeiten des Lebens dort zu erfahren, und er ist auch heute noch im Einsatz. Die Mission war ein wichtiger Erfolg für die Entwickler und Ingenieure des Jet Propulsion Laboratory (JPL) der NASA. Aber bisher wurden nur wenige Beweise für das Leben auf dem Mars gefunden. Wissenschaftler gehen nun davon aus, dass die wahrscheinlichsten Orte, an denen in unserem Sonnensystem Lebenszeichen gefunden werden können, auf den Monden von Saturn und Jupiter liegen. Diese Gasriesen liegen jedoch viel weiter entfernt als der 56 Millionen Kilometer entfernte, vergleichsweise nahe Mars. Einen Raumfahrt-Lander in diese entfernten Gebiete zu bringen, stellt daher eine weitaus größere Herausforderung dar: Um eine so weite Reise zu überstehen, muss ein Raumfahrt-Lander komplizierte Betriebsfunktionen bei Temperaturen weit unter null Grad Celsius erfüllen und den Strahlungen standhalten, die tausende Male größer sind als auf der Erde. Zusätzlich muss er genügend Treibstoff an Bord haben. Gleichzeitig ist in der Weltraumforschung allerdings das Gewicht



**Bild 1** Autodesk und das JPL der NASA haben ein gemeinsames Forschungsprojekt gestartet. (Bild: Autodesk)

beim Start einer der wichtigsten Faktoren. Jedes reduzierte Kilogramm Masse ermöglicht mehr Raum für Sensoren und Instrumente, die nach Leben jenseits der Erde suchen können. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, haben JPL und Autodesk ein mehrjähriges gemeinsames Forschungsprojekt gestartet, um neue Ansätze für Design- und Herstellungsverfahren für die Weltraumforschung zu entwickeln – und der Generative Design-

Ansatz von Autodesk spielte hierbei eine ganz besondere Rolle.

## Mit Generativem Design in kürzester Zeit unzählige Designentwürfe generieren

Generatives Design ist ein relativ neuer Designansatz, der maschinelle Intelligenz und Cloud Computing nutzt, um schnell eine breite Palette von Design-

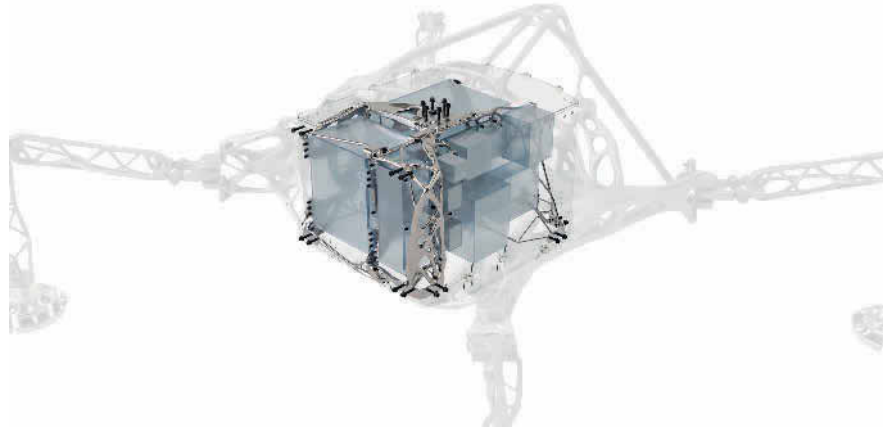


lösungen zu generieren, die den spezifischen Anforderungen der Ingenieure entsprechen. Der Ansatz ermöglicht es Designteams, einen viel größeren Designraum zu erforschen, während sie gleichzeitig an Fertigungs- und Leistungsanforderungen geknüpft sind, die vom Team oder der Umgebung vorgegeben sind.

Eine marktreife Form der Generativen Design-Technologie ist heute in „Autodesk Fusion 360“ verfügbar, der Cloud-basierten Produktentwicklungsplattform von Autodesk. Autodesk entwickelt die Software kontinuierlich für den Einsatz in neuen Anwendungsgebieten weiter, beispielsweise mit JPL. Für das Lander-Projekt untersuchte das JPL-Team den Einsatz experimenteller Generativer Design-Technologie für mehrere Strukturkomponenten, einschließlich der internen Struktur, die die wissenschaftlichen Instrumente hält, und der externen Struktur, die die Landerbeine mit der Hauptnutzlastbox verbindet. Es wurden drei verschiedene Herstellungsverfahren für die verschiedenen Teile des Landers eingesetzt: 3D-Druck, CNC-Fräsen und Gießen. Das Team konnte die Masse der externen Struktur um 35 Prozent reduzieren, verglichen mit dem Ausgangsdesign, mit dem es begonnen hatte. Ein wesentlicher Vorteil des Generativen Designs von Autodesk ist, dass es JPL ermöglicht hat, seine Entwürfe schnell zu wiederholen und gegebenenfalls zu bearbeiten. „Wenn ein Design reift und neue Leistungs- oder Umweltdaten einfließen, kann das Generative Design unseren Kunden ermöglichen, schnell neue Designs zu erstellen“, sagt Karl Willis, Technology-Chief bei Autodesk. Die meisten Design-Teams würden in der Regel zwei bis vier Monate benötigen, um ein überarbeitetes Design zu erstellen, betont er. Bei der Arbeit mit Generativem Design könne dieser Prozess in zwei bis vier Wochen stattfinden. „Diese Flexibilität und Schnelligkeit, eine bestehende Problemstellung zu aktualisieren, anstatt bei Null anzufangen, kombiniert mit der Fähigkeit für Kunden, Produktionsanforderungen festzulegen, machen es zu einem echten Paradigmenwechsel“, sagt Willis. ■

#### Kontakt

Autodesk GmbH  
Aidenbachstr. 56  
81379 München  
Tel.: 0 89 / 54 76 90  
www.autodesk.de



**Bild 2** Der Lander ist wahrscheinlich die komplizierteste Konstruktion, die bisher mit Generativem Design erstellt wurde. (Bild: Autodesk)



**Bild 3** Die Mitglieder des Projektteams montierten die Komponenten des Landers im Autodesk-Technologiezentrum sorgfältig. (Bild: Autodesk)



**Bild 4** Der Entwurf des Landers wurde 2018 auf der Autodesk University in Las Vegas vorgestellt. (Bild: Autodesk)



Gaskompressor-Laufrad für Drohnen und Leitschaufelsegmente für Flugzeuge

# 3D-Druckern gelingt nachhaltige Fertigung hitzebeständiger Materialien

Auf der Messe EMO in Hannover zeigte Trumpf, wie der 3D-Druck die Fertigung von hitzebeständigen Materialien verbessert. Diese bestehen oft aus der Nickelbasislegierung „Inconel“. Das Material hält Temperaturen von bis zu 1000 Grad stand, ohne sich zu verziehen. Zum Einsatz kommt der Werkstoff zum Beispiel bei Gasturbinen, Verbrennungsmotoren oder Heizgeräten. Allerdings lässt sich Inconel mit konventionellen Verfahren nur mühsam bearbeiten. Fräswerkzeuge bleiben darin oft stecken, brechen ab oder werden stumpf. Mittels 3D-Druck lassen sich solche Bauteile schneller, günstiger und in besserer Qualität herstellen.

## 3D-Druck spart Zeit, Material und Werkzeuge

Gegenüber spanenden Verfahren wie Fräsen oder Drehen verschwendet ein 3D-Drucker kein Material, da er nur so viel Pulver aufschmilzt, wie es das Bauteil erfordert. Manuelle Nacharbeit ist kaum nötig, wodurch die Werkzeugkosten erheblich sinken. Außerdem erzielt der 3D-Druck eine bessere Qualität, da sich komplexe Formen einfach umsetzen lassen. Innenliegende Kühlkanäle, die die Leistung und Lebensdauer der Bauteile steigern, lassen sich einfach herstellen. „Hitzebeständige Materialien spielen in vielen industriellen Branchen eine tragende Rolle, etwa in der Luft- und Raumfahrt oder in der Energiebranche. Mit unseren Anwendungsfällen auf der EMO möchten wir Unternehmen aus diesen Bereichen sowie Job-Shops dazu ermutigen, in die Technologie einzusteigen“, sagte Volkan Düğmeci, Mitarbeiter im Branchenmanagement für Luft- und Raumfahrt bei Trumpf Additive Manufacturing. Der 3D-Drucker „TruPrint 3000“, den Trumpf auf der EMO zeigte, eignet sich für klassische Anwendungen aus Inconel. Im



**Bild 1** Der 3D-Drucker „TruPrint 3000“ eignet sich für die Fertigung hitzebeständiger Materialien. (Bild: Trumpf)

40 cm hohen und 30 cm breiten zylinderförmigen Bauraum lassen sich mehrere Teile gleichzeitig fertigen. Außerdem verfügt die Anlage über Lösungen zur

automatischen Qualitätssicherung, etwa „Powder Bed Monitoring“ oder „Melt Pool Monitoring“. „In Branchen mit hohen Sicherheitsvorschriften wie der Luft-

und Raumfahrt ist das ein wichtiger Mehrwert“, sagt Dügmeçi. Mit konventionellen Verfahren ist die Inconel-Bearbeitung mühsam und teuer. Da die Fräser schnell verschleifen, entstehen hohe Werkzeugkosten. Teilweise leidet die Qualität der Bauteile, da die Fräsmaschine bereits verschlissene Werkzeuge nicht erkennt. Außerdem verschwenden Her-

**„Da die Fräsmaschine nur noch bei der Nacharbeit erforderlich ist, reduziert sich der Materialverlust auf weniger als 20 Prozent.“**

steller viel Material. Denn Bauteile aus Inconel wie zum Beispiel Turbinenschaufeln sind meistens komplex. Mitarbeiter müssen oft bis zu 80 % der Rohmasse mit der Fräsmaschine zerspanen, um die Form herauszuarbeiten. Dadurch entstehen bei circa 100 Euro pro Kilogramm Inconel hohe Kosten.

### Beispiel 1: Laufräder für Gaskompressoren

Trumpf zeigte auf der Messe ein 3D-gedrucktes Laufrad für einen Gaskompressor aus Inconel, der im Antrieb von Postdrohnen und Modellflugzeugen sowie bei kleineren Turbinen zum Einsatz kommt. „Das Laufrad zeigt beispielhaft, wie wir die Stärken des 3D-Drucks bei der Inconel-Bearbeitung ausspielen können“, sagte Projektleiter Andreas Margolf von Trumpf Additive Manufacturing. Die konventionelle Herstellung ist zeit- und ressourcenaufwendig. Insgesamt dauert es acht Tage, das Bauteil aus dem Inconel-Block herauszufräsen und es nachzubearbeiten. Trumpf hat den Herstellungsprozess mit dem 3D-Drucker TruPrint 3000 verbessert. Die Anlage baut drei Laufräder auf einer Plattform gleichzeitig auf. Inklusive Nacharbeit beträgt die Herstellungs-



**Bild 2** Im Auftrag von Toolcraft hat Trumpf ein Vane, das bei Flugzeugmotoren zum Einsatz kommt, mittels 3D-Druck hergestellt. Gesamtkostenersparnis: 20 Prozent. (Bild: Trumpf)

zeit pro Stück vier Tage. Da die Fräsmaschine nur noch bei der Nacharbeit erforderlich ist, reduziert sich der Materialverlust auf weniger als 20 %. 3D-Messungen haben gezeigt, dass der gedruckte Gaskompressor über die gleiche Qualität verfügt wie das Original.

### Beispiel 2: Vanes für Flugzeuge

Im Auftrag von Toolcraft hat Trumpf ein Leitschaufelsegment für Flugzeuge, auch Vane genannt, für den 3D-Druck optimiert. Das Bauteil sitzt im Antrieb und leitet Luft- und Abgasströme weiter. Es besteht aus 16 gebogenen Schaufelblättern, die kreisförmig um eine Achse herum angeordnet sind. Aufgrund der komplexen Geometrie des Ringraums dauert der Zerspanprozess 15 Stunden. Die Mitarbeiter müssen aufwendig programmieren, damit die Fräsmaschine die Schaufelblätter des Vane erreicht. Erst nach drei Bearbeitungsdurchgängen ist die Form herausgearbeitet. 85 % des Ausgangsmaterials werden dabei zerspant. Hinzu kommen hohe Werkzeugkosten, denn bei Nickelbasislegierungen sind die Werkzeugkosten etwa 40 % höher als bei traditionellen Stählen. 3D-Druck ist hier deutlich effizienter. Die Anlage TruPrint

3000 baut sechs Vanes in einem Durchgang auf. Die Druckzeit beträgt pro Stück nur noch sechs Stunden. Nacharbeit an der Fräsmaschine ist kaum noch erforderlich. Aufgrund der geringeren Werkzeug- und Materialkosten reduzieren sich die Gesamtkosten um 20 Prozent. Stefan Aurnhammer, Bereichsleiter Metall-Laserschmelzen bei Toolcraft, schätzt die Vorteile des 3D-Drucks vor allem bei Ersatzteilen und Kleinserien. „Bei schwer zerspanbaren Materialien wie Nickelbasislegierungen geht der Trend dahin, dass konventionell gefertigte Ersatzteile in der Regel teurer werden, während die Kosten für gedruckte Teile immer weiter sinken. Außerdem können wir schneller liefern, was für den Kunden oft entscheidend ist.“ Das Vane lässt sich mit 3D-Druck weiter verbessern. Es ist zum Beispiel denkbar, Hohlstrukturen in die Schaufelblätter einzubringen, um damit die Kühlwirkung des Bauteils zu erhöhen. ■

#### Kontakt

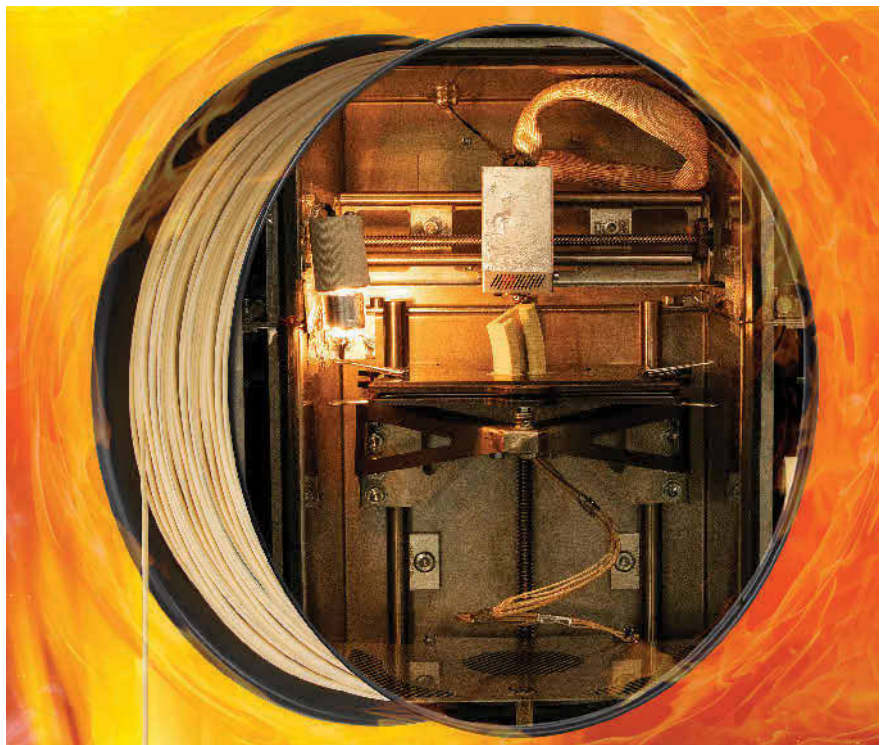
Trumpf GmbH + Co. KG (Holding)  
Johann-Maus-Straße 2  
71254 Ditzingen  
Tel.: 0 71 56 / 3 03-0  
E-Mail [info@trumpf.com](mailto:info@trumpf.com)  
[www.trumpf.com](http://www.trumpf.com)

Hochleistungspolymere sorgen für schnelle und verschleißfeste Sonderlösungen

# Neuartige Materialien sollen 3D-Druck zum Durchbruch verhelfen

Um der additiven Fertigungstechnologie in der Industrie zum Durchbruch zu verhelfen, sind in Zukunft nicht nur leistungsstarke 3D-Drucker notwendig. Gefragt sind auch neuartige Druckmaterialien, die robust und verschleißfest sind. Materialforscher treiben deshalb unter Hochdruck die Entwicklung voran. So auch der „motion plastics“-Spezialist igus.

**P**rototypen, Ersatzteile, Serien und Werkzeuge: Sie kommen in immer mehr Industrieunternehmen aus dem 3D-Drucker. Bei 78 Prozent der Betriebe gilt der 3D-Druck mittlerweile als Schlüsseltechnologie, die Wertschöpfungsketten tiefgreifend verändern wird – dies zeigt eine Umfrage des Digitalverbandes Bitkom. Auch das Kölner Unternehmen igus, das einen 3D-Druckservice für Industriebetriebe anbietet, bemerkt eine steigende Nachfrage. „Kunden haben den 3D-Druckservice so gut angenommen, sodass wir 2018 unsere Lasersinter-Kapazitäten verdreifacht haben“, sagt Tom Krause, Leiter des Geschäftsbereichs Additive Fertigung bei der igus GmbH. „2019 werden wir die Kapazitäten voraussichtlich verdoppeln“. Kein Wunder, denn einige Vorteile des 3D-Drucks liegen auf der Hand: Drucker stellen Unikate und kleine Serien schnell und kostengünstig her. Klassische Fertigungstechnologien wie der Spritzguss hingegen stoßen bei niedrigen Auflagen häufig an die Grenzen der Wirtschaftlichkeit. Denn aufgrund der zeitaufwendigen Herstellung von Gussformen sind die Initial-Kosten hoch und rentieren sich erst für Großserien. Zudem genießen Konstrukteure dank des 3D-Drucks eine



**Bild 1** Ein selbstgebauter Hochtemperatur-3D-Drucker mit „drylin“-Edelstahl-Linearführungen und „dryspin“-Spindeln sorgte bei igus für die Entwicklung eines neuen verschleißfesten und hitzebeständigen Filaments. (Bild: igus)

weitaus größere Designfreiheit. 3D-Drucker fertigen komplexe Geometrien und innere Strukturen im Handum-

drehen. Traditionelle Verfahren, etwa subtraktives Drehen und Fräsen oder Urformen wie Gießen und Schmieden,



scheitern oder benötigen Füge-techniken wie Kleben, Schweißen oder Schrauben. „Traditionelle Fertigungsverfahren werden bislang zwar noch nicht vollständig vom 3D-Druck verdrängt“, so Bitkom-Präsident Achim Berg, „dennoch hat er großes Potenzial, sich in vielen Bereichen zum bevorzugten Produktionsverfahren zu entwickeln.“

## Gefragt: Hochleistungs- polymere für den industriellen 3D-Druck

Um den Durchbruch der additiven Fertigungstechnik zu besiegeln, sind nicht nur leistungsstarke 3D-Drucker notwendig. Gefragt sind auch neuartige Druckmaterialien. Derzeit vor allem aus Kunststoff und Metall. Doch mit klassischen Polymeren wie Polyactide (PLA), Polyamid (PA12) und Arcylnitril-Butadien-Styrol (ABS) – aus denen auch Lego-Steine gemacht sind – lassen sich keine Produkte herstellen, die in puncto Lebensdauer und Verschleißfestigkeit Industrieanforderungen entsprechen. Die Kunststoffe haben hohe Reibwerte, hohe Verschleißraten und halten keinen hohen Temperaturen stand. Gefragt sind deshalb neuartige Hochleistungspolymere für den industriellen 3D-Druck. Ihre Qualität wird zunehmend darüber entscheiden, wie schnell sich der 3D-Druck von Kunststoffbauteilen in der Industrie ausbreitet. Forscher auf der ganzen Welt entwickeln deswegen neuartige Hochleistungspolymere. Auch in Köln, am Hauptsitz von igus. Der „motion plastics“-Spezialist ist seit 1964 auf die Herstellung von Kunststoffteilen für die Industrie spezialisiert.

## Verschleißoptimierte Materialien für FDM- und SLS-Verfahren

Seit 2014 bietet das Unternehmen Materialien für 3D-Drucker an. Das Sortiment umfasst Spezial-Filamente für den 3D-Druck im Strangablageverfahren (FDM/FFF) und Kunststoffe für das Selektive Lasersintern (SLS). Das Hauptaugenmerk der Entwickler liegt dabei auf Verschleiß- und Abriebfestigkeit der Spezialkunststoffe, Eigenschaften, die zu einer hohen Lebensdauer der 3D-gedruckten Bauteile führen – etwa von Gleitlagern, Zahnrädern, Rollen, Greifern und Gelenken. „In puncto Robustheit hält



**Bild 2** Um Anwendern aus der 3D-Druck-Branche mehr Produktvielfalt anbieten zu können, hat igus das SLS-Material „iglidur I3“ entwickelt. (Bild: igus)



**Bild 3** „Aufgrund der hohen Nachfrage bauen wir mit neuen SLS-Druckern unseren 3D-Druckservice für verschleißfeste Sonderlösungen weiter aus“, freut sich Tom Krause, Bereichsleiter Additive Fertigung bei igus. (Bild: igus)

der 3D-Druck sogar mit dem Spritzgussverfahren mit“, sagt Tom Krause. „Tests haben gezeigt, dass die Verschleißfestigkeit der additiv gefertigten Teile absolut vergleichbar mit Spritzgussteilen ist. Unsere tribologisch optimierten Filamente sind dabei bis zu 50-fach abriebfester als gängige 3D-Druckmaterialien.“

Die Entwickler achten aber nicht nur auf Verschleißfestigkeit. „Das Angebot reicht von 3D-Druck-Materialien für einfache Verarbeitung, über Filamente mit hoher Festigkeit und Bruchdehnung, bis hin zu chemikalienbeständigen Materialien und Hochtemperatur-Werkstoffen.“

Da sich igus auf die bewegte Anwendung konzentriert, sind alle „iglidur“-3D-Druck-Materialien auf hohe Abriebfestigkeit und niedrige Reibwerte optimiert. Zu den Allroundern zählt iglidur I180-PF, ein Filament, geeignet für Kleinserien oder Einzelanfertigungen. iglidur J260-PF hingegen ist prädestiniert für hohe Anwendungstemperaturen. Nutzen lassen sich die iglidur-Filamente auf allen handelsüblichen Druckern. Für den 3D-Druck im SLS-Verfahren bietet igus zudem iglidur I3-PL und iglidur I6-PL an. Auch diese Materialien punkten mit überdurchschnittlicher Robustheit und Verschleißfestigkeit. „Unsere tribologischen Versuche zeigen: Der Hochleistungskunststoff iglidur I3 hat eine mindestens um

„Tests  
haben gezeigt,  
dass die Verschleiß-  
festigkeit der additiv  
gefertigten Teile  
absolut vergleichbar  
mit Spritzgussteilen  
ist.“

den Faktor 3 bessere Abriebfestigkeit als herkömmliche Materialien für das Lasersintern.“ Doch nicht nur deshalb stellt der igus-3D-Druckservice die allermeisten Teile beim Lasersintern aus iglidur I3 her. Das Material hat zudem die beste Preis-Leistungs-Performance unter den iglidur-3D-Druck-Materialien.

## 3D-Drucker und Filamente für die Bahntechnik

igus entwickelt nicht nur Filamente, sondern baut selbst auch 3D-Drucker für hauseigene Forschung und Entwicklung. Eine der Errungenschaften: ein Hochtemperatur-3D-Drucker. Die Konstrukteure haben eine Düse eingebaut, die das Druckmaterial bei einer Hitze von 370 °C aufschmilzt. Um bei Bauraumtemperaturen von bis zu 200 °C ein präzises Verstellen der Bauplatte zu ermöglichen, kommen schmiermittelfreie Linearlagerfolien und Spindelmuttern aus den Hochleistungskunststoffen iglidur X und iglidur C500 zum Einsatz. Ebenso hitzebeständige Edelstahlkomponenten der „drylin W“ ▶



**Bild 4** igus erweitert seinen 3D-Druckservice um das „Print2Mould“-Verfahren mit gedruckten Spritzgusswerkzeugen. So kann der Anwender jetzt online sein verschleißfestes Sonderteil im passenden schmier- und wartungsfreien iglidur Werkstoff bestellen. (Bild: igus)

Linearführung und „dryspin“-Steilgewindespindeln in der X-, Y- und Z-Achse.

Mit dem Drucker lassen sich neuartige Filamente verarbeiten – etwa iglidur RW370, ein 3D-Druckmaterial, das igus für Bauteile für die Bahntechnik entwickelt hat. Der Hochleistungskunststoff hat brandhemmende Eigenschaften und hält Temperaturen von bis zu 190 °C stand. Somit entspricht das Filament der europäischen Brandschutznorm DIN EN45545 für Schienenfahrzeuge. Möglich wird somit der 3D-Druck von Kunststoffbauteilen für Züge zum Beispiel von Gleitlagern für die Öffnungsmechanismen der Türen.

### 3D-Druckservice

Um dem 3D-Druck in der Industrie zum Durchbruch zu verhelfen, bietet igus zudem einen 3D-Druckservice an. Der Kunde muss nicht in einen eigenen 3D-Drucker investieren, sondern lediglich die Computer-Aided-Design (CAD)-Datei eines Verschleißteils zur Verfügung stellen. Ist diese nicht vorhanden, kann igus mit einem 3D-Scanner das Bauteil digitalisieren. Alternativ kann der Kunde selbst mit dem kostenlosen igus-Konfigurator ein 3D-Modell von seinem Zahnrad oder Gleitlager, seiner Zahnstange oder Rolle erstellen. Der nächste Schritt: Der

Kunde wählt ein Druckmaterial, das für seine Anwendung geeignet ist. Orientierung bietet hier ein Online-Tool, das auf aktuelle Ergebnisse aus dem Testlabor zurückgreift. Anschließend beginnt der Druck. In den Werkhallen stehen sowohl Fused Deposition Modellig (FDM)-Drucker als auch Geräte für das Selektive Lasersintern (SLS). Beim FDM-Verfahren fließt geschmolzener Kunststoff durch eine Düse. Beim SLS-Verfahren hingegen verschmilzt ein Laser Kunststoffpulver. Mit beiden Verfahren lassen sich Unikate und Serien von bis zu 5000 Stück kosteneffizient herstellen. Zahnräder mit einem Durchmesser von 12 mm und einer Tiefe von 16 mm kosten bei 100 Exemplaren 1,70 Euro pro Stück. Ein Pendant des Wettbewerbs, das mit Fräsen hergestellt ist, schlägt hingegen mit durchschnittlich etwa 2,80 Euro zu Buche.

### „print2mold“: Brückenschlag zwischen 3D-Druck und Spritzguss

3D-Druck ist nicht für alle Aufträge geeignet. Viele Kunden wünschen sich Materialien, die sich bislang nur im Spritzgussverfahren oder aus Halbzeugen verarbeiten lassen. Auch für Prototypen und Kleinserien. Das Problem: Zeit- und kostenintensive Sonder-Spritzgusswerk-

zeuge sind nötig. Die Lösung: igus schlägt eine Brücke zwischen 3D-Druck und Spritzguss. Das Unternehmen fertigt unter dem Namen „print2mold“ die Gussformen mit der additiven Fertigung. „Mit print2mold sind wir in der Lage, Spritzgusswerkzeuge innerhalb eines Tages herzustellen und die Kosten im Vergleich zu gefrästen oder erodierten Werkzeugen um bis zu 80 Prozent zu reduzieren“, sagt Krause. „Dank des Verfahrens lassen sich zudem besonders feine Details und komplexe Strukturen realisieren.“ Der wesentliche Vorteil: der Anwender kann sich frei aus der iglidur-Werkstoffpalette mit seinen 55 schmierfreien Hochleistungspolymeren bedienen. Mit dabei sind beispielsweise die FDA-konformen Werkstoffe iglidur A350 und iglidur A181 für den Einsatz im Lebensmittelbereich, iglidur L500 für den Automotive-Bereich sowie iglidur X für Hochtemperaturanwendungen. Das print2mold-Verfahren hat igus jetzt in seinen Online-3D-Druckservice integriert. Die Fertigung von Sonderteilen in dem Verfahren zeichnet sich vor allem als zeitsparende Lösung für die Prototypenentwicklung sowie für Kleinserien aus. So erhält der Kunde die Möglichkeit, bereits im Frühstadium seiner Entwicklung serienidentische Bauteile zu erhalten.

### Zukunftsmusik

Und was bringt die Zukunft? „Eine spannende Frage ist die wirtschaftliche Fertigung von Multimaterial-Bauteilen für die Einbringung noch gezielterer Materialeigenschaften“, so Tom Krause. „Beispielsweise sind Hart-Weich-Kombinationen bereits umgesetzt. Für die Skalierbarkeit sind jedoch noch technologische Weiterentwicklungen nötig. Außerdem arbeitet igus intensiv daran, alle 55 bestehenden iglidur-Materialien für den 3D-Druck zu befähigen.“

#### Kontakt

igus GmbH  
Spicher Straße 1a  
51147 Köln  
Tel.: 0 22 03 / 96 49-0  
E-Mail: info@igus.de  
www.igus.de

## Additive Fertigung für die Serienproduktion

Bei der additiven Fertigung komplexer Metallbauteile sollen Dauer und Kosten um 50 % sinken – das ist das Ziel des Projekts „IDEA“ (Industrialisierung von Digitalem Engineering und Additiver Fertigung). Die Additive Fertigung, auch als 3D-Druck bekannt, bietet viele Vorteile. Nahezu beliebige Geometrien und selbst komplexe Strukturen lassen sich ohne wesentlichen Mehraufwand herstellen. Es entstehen etwa anspruchsvolle Metallbauteile wie Turbinenschaufeln, Getriebe- oder Motorenteile. Gleichzeitig wird die Massenfertigung individualisierter Produkte möglich.

Derzeit laufen die einzelnen Arbeitsschritte in der Prozesskette für den Pulver- und Metall-basierten 3D-Druck häufig noch isoliert ab. Ziel von IDEA ist es, mit 14 Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft die weitere Industrialisierung und Automatisierung der Additiven Fertigung voranzutreiben.

Beim industriellen 3D-Druck wird schichtweise Metallpulver mittels Laserstrahlung aufgeschmolzen. So entstehen aus manchmal mehreren tausend Schichten komplexe Metallbauteile, die ansonsten durch konventionelle Metallbearbeitung wie Drehen, Fräsen oder Schweißen hergestellt werden müssten. Die komplette Prozesskette reicht vom Erstellen der Modelle am Computer über die Pulverauswahl, den 3D-Druckprozess, die Qualitätskontrolle, eine Wärmebehandlung und die Nachbearbeitung.

Zu den Partnern des Projekts IDEA zählen die Hard- beziehungsweise Software-Ausrüster Allmatic, BCT, Jenoptik, ModuleWorks und Siemens Digital Industries, führende Lösungsanbieter für den industriellen 3D-Druck wie EOS und Trumpf und die 3D Druck-Anwender Liebherr-Aerospace, MBFZ toolcraft GmbH, MTU Aero Engines und Siemens Gas and Power. Wissenschaftliche Unterstützung erhält das Projekt von den Fraunhofer Instituten für Lasertechnik ILT und für Produktionstechnologie IPT und der RWTH Aachen mit dem Lehrstuhl Fertigungsmesstechnik und Qualitätsmanagement unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Robert Schmitt am Werkzeugmaschinenlabor WZL und dem Lehrstuhl für Digital Additive Production DAP.

Das übergeordnete Ziel von IDEA ist die weitere Industrialisierung der Additiven Fertigung für die deutsche Industrie. Dies zu beschleunigen, kann am besten mit einem industrieübergreifenden Teamansatz gelöst werden. Großes Potenzial besteht vor allem bei der effizienteren Kopplung von Hardware und Software. Mit digitalen Zwillingen der zu fertigenden Produkte, des Fertigungsverfahrens und der gesamten Produktionslinie soll eine durch bisher noch händische Eingriffe geprägte Produktion zu einer hocheffizienten Fertigungsline werden. Die Produktivitätsvorteile sollen insbesondere durch die Nutzung durchgängiger Datenformate, durch Prozesssimulation, durch die Nutzung eines modernen Produktionsleitsystems und durch die durchgängige Erfassung von Fertigungsdaten erreicht werden.

Nach einer Entwicklungs- und Implementationsphase ist in der zweiten Hälfte des Projektes die Validierung vorgesehen, wobei die Zielerreichung anhand der Fertigung von Demonstrator-Bauteilen in zwei Pilotlinien gemessen wird. Die Vorbilder industrieller Fertigungsanlagen werden im Siemens-Gasturbinenwerk in Berlin und der MBFZ toolcraft GmbH in Georgensgmünd entstehen. Dabei werden sowohl die Anforderungen mittelständischer Betriebe als auch der Großindustrie berücksichtigt. Das Projekt ist Teil der Förderinitiative „LAF“ (Linienintegration additiver Fertigungsverfahren) die das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Photonik Forschung Deutschland ins Leben gerufen hat. Die Fördersumme beträgt knapp 14 Millionen Euro. Kontakt am WZL: Dr. Martin Peterek, E-Mail: [m.peterek@wzl.rwth-aachen.de](mailto:m.peterek@wzl.rwth-aachen.de), [www.wzl.rwth-aachen.de](http://www.wzl.rwth-aachen.de)



Individuelles Fertigteil von Murtfeldt

## 3D-Drucken oder Zerspanen?

Hier eine 65-jährige Expertise in der Zerspanung von kundenorientierten Kunststofflösungen, dort eine 5-jährige Start-Up-Dynamik im 3D-Druck: Seit einem Jahr profitieren die Kunden von der Partnerschaft der Dortmunder Murtfeldt Kunststoffe und der Tübinger Firma Jomatik. Von der übergreifenden Expertise und Service-Orientiertheit beider Unternehmen im Bereich individueller Kunststofflösungen im Maschinenbau haben Kunden viele Vorteile. Tradition und Zukunftsorientierung gehen dabei Hand in Hand. Deutlich wird das nicht zuletzt an der Möglichkeit, die Murtfeldt in der Fertigung bietet. Ob letztendlich zerspanend oder im 3D-Druckverfahren produziert wird, hängt nicht nur von Losgrößen und Zeit ab. Murtfeldt folgt auch weiterhin seiner bewährten Strategie, sich als Partner des Kunden zu verstehen und diesem technologieunabhängig die für ihn beste Lösung anzubieten.

Profile, Führungen und Gleitschienen – insbesondere für Rollenketten und Riemen – sind eine Kernkompetenz von Murtfeldt. Dass hierbei leistungsfähige Kunststoffe zum Einsatz kommen, versteht sich fast von selbst. Kunststoffteile lassen sich mittels 3D-Druck heute kundenindividuell und in beliebigen Geometrien herstellen.

Murtfeldt kann auch mit der Rekonstruktion verlorengegangener Konstruktionsdaten dienen. Zwar punkten die Ketten-, Riemen- und Gleitführungen des Unternehmens durch ihre hohe Verschleißfestigkeit und lange Lebensdauer. Doch durch die mechanische und dynamische Belastung der Kette oder des Riemens sowie durch äußere Umweltfaktoren wie beispielsweise Staub verschleifen auf Dauer auch äußerst widerstandsfähige Kunststoffe. Bedingt durch die lange Einsatzdauer liegen dann häufig keine Konstruktionsdaten mehr vor. Diese kann Murtfeldt durch Scannen und Re-Engineering dann unkompliziert erneut generieren.

Produktions- und Konstruktionsdienstleistungen bietet Murtfeldt also in der zerspanenden wie auch additiven Fertigung. Das Angebot umfasst standardisierte Produkte wie Ketten- und Riemenführungen sowie Spannsysteme, individuelle Bauteile wie unter anderem Sonderprofile, Produktwender und Förderschnecken und reicht bis hin zu komplexen Aufgabenstellungen im Maschinenbau. Nachbearbeitung aller Art, Montage und Schulungen runden das Portfolio ab. Der Partner Jomatik garantiert eine ebenso hohe Industriequalität.

Murtfeldt Kunststoffe GmbH & Co. KG, [www.murtfeldt.de](http://www.murtfeldt.de)  
Jomatik GmbH, <http://jomatik.de>



## Effizienz durch Energie



**Bild 1** Energie nach Bedarf erzeugen und rückgewinnen, Verbrauch überwachen, durchdacht Entscheiden und effizient Denken: Das Konzept „Energy Efficiency“ von SMC veranschaulicht, wo mit Umdenken und innovativen Lösungen große Einsparpotenziale erschlossen werden können. (Bild: SMC)

SMC stellt ein ganzheitliches Energiesparkonzept vor

# Fünf Säulen der Energieeffizienz

Energie ist ein wertvolles Gut – sparsam damit umzugehen bedeutet, Geld zu sparen, die Umwelt zu schützen und immer strengere Gesetze einzuhalten.

Die Sparpotenziale sind groß, vor allem, wenn man die Lebenszykluskosten berücksichtigt.

Was für einen energieeffizienten, nachhaltigen und produktiven Betrieb benötigt wird, sind innovative Technologien und ein neuer Denkansatz.

Bei SMC beruht dieser auf fünf Säulen.

**B**jörn Prinz, Manager End-user Business bei SMC, sagt: „Wir bei SMC haben schon immer hinsichtlich Energieeffizienz und Nachhaltigkeit für unsere Kunden mitgedacht. Jetzt haben wir die Gelegenheit ergriffen und unser Konzept als führender Hersteller, Partner und Lösungsanbieter für pneumatische und elektrische Automatisierungstechnik überdacht und konsequent verbessert.“

Das Ergebnis: „SMC Energy Efficiency“. Fünf Säulen, auf denen die Energie-

effizienz bei SMC ruht und die Automatisierungsexperten bei der Entwicklung aller individuellen Kundenlösungen anwenden. „Die effizienteste Energie ist die, die nicht verbraucht wird, und damit gar nicht erst erzeugt werden muss“, betont Prinz.

## Fünf Säulen für mehr Energieeffizienz

Die erste Säule von SMC Energy Efficiency ist deshalb „Erzeugung nach Bedarf“. Besonders in der Pneumatik lassen

sich große Sparpotenziale erschließen, wenn immer genau der Druck erzeugt wird, der notwendig ist. Dank SMC Lösungen wie etwa den VBA-Druckverstärkern oder dem AirMaS-System, das den Volumenstrom stabilisiert, kann beispielsweise der Betriebsdruck einer ganzen Fertigung reduziert und nur punktuell dort erhöht werden, wo er gebraucht wird – etwa bei speziellen Maschinen. Damit ist es möglich, den Druckluftverbrauch um circa 15 bis 20 % zu reduzieren.

„Einmal erzeugte Energie muss so effizient wie möglich genutzt werden“, sagt

Björn Prinz. Dazu gehört auch ihre „Rückgewinnung“. Beispielsweise lässt sich das Kühlwasser von Kühl- und Temperiergeräten der Serie HRR von SMC mit der Abwärme des Kältemittelkompressors erwärmen – ein separates Heizelement für den Medienkreislauf wird nicht mehr benötigt.

Um das perfekte Konzept für die Energieeffizienz im Zeitalter der Digitalisierung zu formulieren, muss zunächst der Ist-Zustand klar sein: Die „Überwachung“ des Energieverbrauchs ist die dritte Säule von SMC Energy Efficiency. Digitale Durchflussschalter der Serien PF3W oder PF3A von SMC messen zuverlässig den Wasser- oder Luftstrom im System und lassen dadurch Rückschlüsse auf den Energieverbrauch in Echtzeit zu. Die Minimierung von Leckagen spielt ebenfalls eine wichtige Rolle. So können beispielsweise Standby-Ventile von SMC Leckagen in Anlagen reduzieren, die häufiger in den Ruhe- oder Standby-Modus gehen. „Gleichzeitig müssen Leckagen, etwa in Druckluftsystemen, schnell gefunden werden. Durch sie gehen im Schnitt etwa 20 % der erzeugten Druckluft verloren“, erläutert Björn Prinz. „Unsere automatischen ALDS-Leckagemessungs- und Ortungssysteme übernehmen das für unsere Kunden.“ Intelligente Signalgeber der Serie D-MP lassen Rückschlüsse auf Leckagen an Zylindern zu und ermöglichen so den frühzeitigen Austausch eines defekten Zylinders.

Die gesammelten Daten helfen Kunden dabei, „durchdacht zu entscheiden“. „Druckluft wird oft noch als kostenlos angesehen, das führt zu ineffizienter Energienutzung“, sagt Björn Prinz. Bevor eine Anlage ihren Betrieb aufnimmt, sind viele Entscheidungen zu treffen, die sich direkt auf ihre Effizienz auswirken. Dank den Produktkonfiguratoren von SMC lassen sich die perfekten Zylinder-Baugrößen, Ventilmäße und Schlauchdurchmesser bereits online zusammenstellen. Björn Prinz: „Und wenn spezielle Anforderungen erfüllt werden müssen, konzipieren wir gemeinsam mit dem Kunden eine passende, individuelle Lösung.“

Nachhaltigkeit und Energieeffizienz setzen sich nur durch, wenn alle auch „effizient denken“. Die Effizienz muss zu einem festen Bestandteil des Alltags und in alle Entscheidungsprozesse eingebunden werden. Damit lässt sich eine kontinuierliche Verbesserung erzielen – in allen Bereichen, von der Entwicklung bis zur An-



**Bild 2** Minimieren Leckage auch im Ruhemodus: Die Standby-Ventile der Serie VEX1500/1700 von SMC reduzieren bei Betriebspausen, etwa zum Werkzeug- oder Schichtwechsel, automatisch den Druck einer Anlage und sparen so Druckluft und Energie. (Bild: SMC)



**Bild 3** Smarte Sensorik: Intelligente Positionssensoren der Serie D-MP überwachen die Zylinderposition, sorgen für die Anbindung von Aktoren an ein I4.0-Umfeld und reduzieren damit Wartungszeiten und Fehlfunktionen. (Bild: SMC)

wendung. Die Experten von SMC leben das Konzept Energy Efficiency und zeigen allen interessierten Kunden in speziellen Trainings und Schulungen auf, wo sie in ihren Anlagen Energie sparen und die Nachhaltigkeit steigern können. Und das weltweit, dank dem umfassenden Service- und Logistiknetz von SMC. ■

#### Kontakt

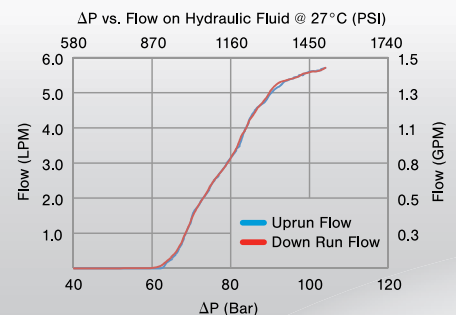
SMC Deutschland GmbH  
Boschring 13–15, 63329 Egelsbach  
Tel.: 0 61 03 / 4 02-0  
E-Mail: info@smc.de  
www.smc.de

# SICHER BEGRENZT

Druckbegrenzungs-  
ventil Ø 5,5 mm  
von LEE



- Ganz aus Edelstahl
- Schnelle Öffnungsrate
- Stabiler Durchfluss
- Geringste Hysterese
- Klein – spart Platz und Gewicht
- Einfach zu montieren



Innovation in Miniature  
**LEE**®

LEE Hydraulische  
Miniatürkompontenten GmbH

Am Limespark 2 · D-65843 Sulzbach

☎ +49(0)6196/7 73 69-0

✉ info@lee.de

www.lee.de





**Während der Ballon** in der Aorta seinen Dienst verrichtet, befindet sich die tragbare Pumpe außerhalb des Körpers. Miniatur-Kugelgewindetriebe von August Steinmeyer sind elementarer Bestandteil des innovativen Systems. (Bild: August Steinmeyer)

## Mit Kugelgewindetrieben dem Herzen zu Hilfe

Aktive Entlastung des Herzens und Unterstützung des Blutkreislaufs: Der Einsatz einer Herzpumpe kann bei Schädigungen des kardiovaskulären Systems überlebenswichtig sein. In jüngerer Vergangenheit wurden zunehmend Pumpen auf den Markt gebracht, die voll implantiert werden – allerdings sind sie teuer und nicht für jeden Patienten geeignet. Als Alternative wurden nun Systeme entwickelt, die auf implantierte Ballons und externe Pumpen setzen. Sie erlauben den Einsatz bei wesentlich mehr Patienten und Erkrankungen. Die Entwickler standen vor technischen Herausforderungen: Es galt, eine portable Pumpe zu entwerfen, welche nicht nur die Druckbeaufschlagung des Ballons im Herzen sorgfältig steuern kann, sondern auch den speziellen Ansprüchen an Gewicht, Größe und Lautstärke gerecht wird. Die Lösung, die ein Kunde von August Steinmeyer fand, ist ein Miniatur-Kugelgewindetrieb als Antriebsmechanismus in Kombination mit einem speziell entwickeltem Metallbalg als Druckkammer.

Der Miniatur-Kugelgewindetrieb aus dem Hause August Steinmeyer bietet eine außergewöhnliche Schubdichte und ermöglicht sowohl vorwärts als auch rückwärts eine hohe lineare Beschleunigung. Der ausgezeichnete Wirkungsgrad von über 90 Prozent erlaubt den Einsatz von Kleinmotoren und hält den Stromverbrauch niedrig. So konnte das Gesamtsystem möglichst klein und leicht gehalten werden. Mit dem Kugelgewindetrieb wurde ein Produkt gewählt, das reibungslosen Betrieb und lange Lebensdauer garantiert. Zugleich sichert der technische Support des Unternehmens die Begleitung in allen Entwicklungsstufen der Pumpe. Der Miniatur-Kugelgewindetrieb wurde mit dem von August Steinmeyer entwickelten „optiSlite“-Verfahren behandelt. Hierbei werden Unregelmäßigkeiten, die beim Gewindeschleifen der Welle übrig bleiben, entfernt. Die dadurch entstehende Oberfläche ermöglicht einen besonders gleichmäßigen und leisen Betrieb.

Während sich die innovative tragbare Pumpe in späten klinischen Studien befindet, denken die Unternehmen schon über die zukünftigen Modelle nach: Die Ballonkatheter sollen intelligent werden. Ausgestattet mit flexibler Elektronik entlang des Katheters können sie bei der Datenerfassung und Therapie kardiovaskulärer Erkrankungen helfen. Kugelgewindetriebspumpen sind hierfür bestens geeignet. August Steinmeyer GmbH & Co. KG, [www.steinmeyer.com](http://www.steinmeyer.com)

## Hydraulischer und pneumatischer Druck im Griff

Die mechanischen Druckschalter der Suco Robert Scheuffele GmbH & Co. KG aus Bietigheim-Bissingen haben sich im Laufe der Jahrzehnte weltweit einen exzellenten Ruf erworben. Zu den Kunden zählen namhafte Hersteller zum Beispiel aus den Bereichen Mobilhydraulik, Maschinen- und Anlagenbau sowie der Medizin- und Prozesstechnik. Die Druckschalter „made in Germany“ sind in allen Industriebereichen vertreten, in denen hydraulischer oder pneumatischer Druck zuverlässig und sicher gemessen, überwacht und geregelt werden muss. Neben der Variantenvielfalt (zum Beispiel elektrische und mechanische Anschlussmöglichkeiten sowie Dichtungsmaterialien), der hohen Temperaturbeständigkeit (NBR-Membrane bis –40 °C, FFKM bis +120 °C) zählen vor allem die Langlebigkeit und Überdrucksicherheit zu den Alleinstellungsmerkmalen der mechanischen Druckschalter.

Durch die kontinuierliche Optimierung und Kontrolle der Prozesse und Komponenten ist es Suco gelungen, die bereits überdurchschnittlich hohe Überdruckfestigkeit der mechanischen Druckschalter noch deutlich zu steigern. Dies wurde unter anderem im Rahmen eines dynamischen Druckwechseltests durch ein externes, unabhängiges Prüflabor bestätigt.

Getestet wurde eine repräsentative Auswahl an mechanischen Membran- und Kolbendruckschaltern. Basierend auf den Versuchsergebnissen ist festzustellen, dass bei allen getesteten Druckschaltern die überdurchschnittlich hohen Werte der Überdruckfestigkeit bestätigt werden konnten. Einige der getesteten Baureihen haben das gesamte Versuchsszenario mit insgesamt 1,5 Millionen Zyklen bei verschiedenen Druckstufen bis maximal 720 bar ohne Ausfall absolviert. Basierend auf diesen Ergebnissen kann Suco für einige Baureihen die Werte für die statische Überdruckfestigkeit noch weiter ausdehnen. Darüber hinaus wird Suco zukünftig für die mechanischen Druckschalter SW24 und SW27 Werte für den statischen Berstdruck spezifizieren, welcher beachtliche Werte bis zu 1000 bar erreicht.

Im Bereich der Fluidtechnik liegt der durchschnittliche Berstdruck circa 20–30 % über der Überdrucksicherheit. Mit Berstdruckwerten von bis zum 1,75-fachen der Überdrucksicherheit liegt Suco auch hier deutlich darüber.

Suco Robert Scheuffele GmbH & Co. KG, [www.suco.de](http://www.suco.de)



**Den Druckschaltern** sind hinsichtlich der Druckbelastung physikalische Grenzen gesetzt, das heißt wird die Druckbelastung zu groß, kann der Druckschalter beschädigt oder zerstört werden. Der Berstdruck definiert diese Grenze. Das Überschreiten dieser Grenze stellt ein erhebliches Sicherheitsrisiko für Mensch, Maschine und Umwelt dar.



## Pumpenbaureihe aus Edelstahlfeinguss mit erhöhter Standzeit

Gerade bei der Förderung von chemisch aggressivem und abrasivem Schmutzwasser sowie flüssiger Chemikalien müssen Pumpen besonders widerstandsfähig und robust sein. Ein häufig auftretendes Problem ist, dass die Wellenabdichtung und die Kabeleinführung durch die Fluide angegriffen und zerstört werden. Dadurch tritt das Medium in das Motorgehäuse ein, was im schlimmsten Fall zum Totalausfall der Pumpe führt. Zudem korrodieren die nichtbeständigen metallischen Bauteile durch den Kontakt mit den aggressiven Medien, was die Leistung der Pumpe mindert und ebenso einen Defekt verursachen kann.

Aus diesem Grund hat die Homa Pumpenfabrik GmbH ein umfassendes Edelstahl-Tauchmotorpumpen-Sortiment entwickelt. Die einzelnen Baureihen CH, CTP, CMX, CV, CVX, CK sind mit Druckanschlüssen von 2" bis DN 150 ausgestattet. Die CH430-Baureihe zeichnet sich dabei durch eine kompakte und robuste Konstruktion aus, was einen flexiblen Einsatz in der chemischen Industrie und beim Transport von Bilgenwasser in der Schifffahrt ermöglicht.

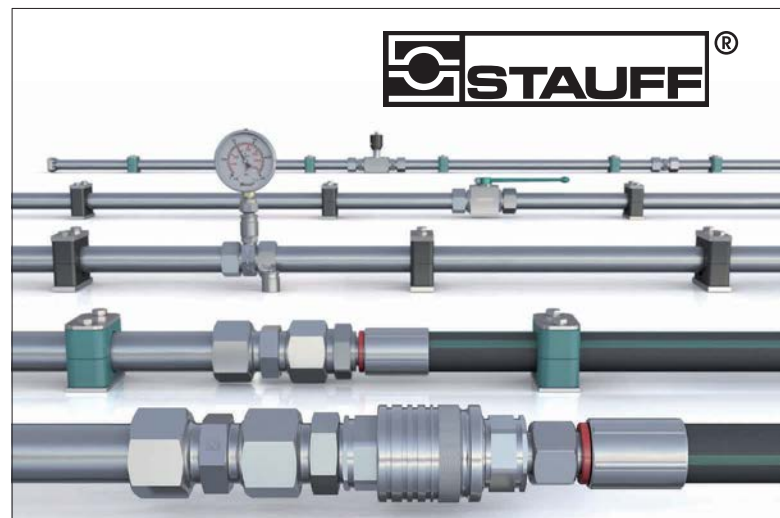
Die Aggregate sind aus beständigem Edelstahlfeinguss gefertigt, wodurch Schwingungen besser getilgt und somit das Lager und die Gleitringdichtung weniger belastet werden. Somit wird die Standzeit erhöht und Wartungsintervalle werden erheblich verringert. „Um chemische Fluide und Schmutzwasser, das mit Chemikalien belastet ist, zuverlässig und sicher zu fördern, müssen die eingesetzten Pumpen besonders widerstandsfähig sein“, erklärt Herr Stephan Wild, verantwortlich für die technische Projektierung bei der Homa Pumpenfabrik. „Wenn die Wellenabdichtung beziehungsweise die Kabeleinführung durch das Medium zersetzt werden, dringt das chemisch aggressive Fluid in den Motorraum ein, was letztendlich den Ausfall der Pumpe zur Folge hat.“

Das Aggregate von Homa zeichnen sich zudem durch einen hohen Wirkungsgrad aus: „Die Anforderungen an die Hydraulik werden bereits in der Projektierungsphase mittels einer Software für Strömungssimulation berechnet, um eine optimale Auslegung der Pumpen zu gewährleisten. Dadurch ergeben sich frühzeitig Erkenntnisse zum erreichbaren Wirkungsgrad, was sich in einem geringen Energieverbrauch der Pumpen niederschlägt. Dies hängt natürlich mit dem jeweiligen Einsatzszenario zusammen“, erläutert Stephan Wild. Neben der Berechnungssoftware beeinflusst die unternehmenseigene Statorenwickelerei das Ergebnis und trägt zu den hohen Wirkungsgraden bei. Somit können Komponenten der Baureihe nach Wünschen von Auftraggebern an die jeweiligen Auftragsszenarien adaptiert werden. Die Pumpen können über ein zusätzliches Steuergerät vollautomatisch reguliert und überwacht werden: „Störungen während eines Förderprozesses werden durch die Steuerungen automatisch via App an ein mobiles Endgerät gemeldet und können somit zeitnah behoben werden“, berichtet Wild. Überwachungen sind beim Füllstand im Schacht, bei der Stromerfassung sowie bei der Thermik der Wicklung möglich. Gleichzeitig werden Wartungsintervalle, Nachlaufzeiten, Anlaufverzögerungen sowie die Drehrichtungserkennung angezeigt.

Homa Pumpenfabrik GmbH, [www.homa-pumpen.de](http://www.homa-pumpen.de)



Die verschiedenen Edelstahl-Tauchmotorpumpen der Baureihen CH, CTP, CMX, CV, CVX, CK der Homa Pumpenfabrik – konzipiert mit Druckanschlüssen von 2" bis DN 150 – eignen sich für den Dauerbetrieb z. B. in der chemischen Industrie und bei der Entsorgung chemisch belasteter Abwässer. (Bild: Homa Pumpenfabrik)



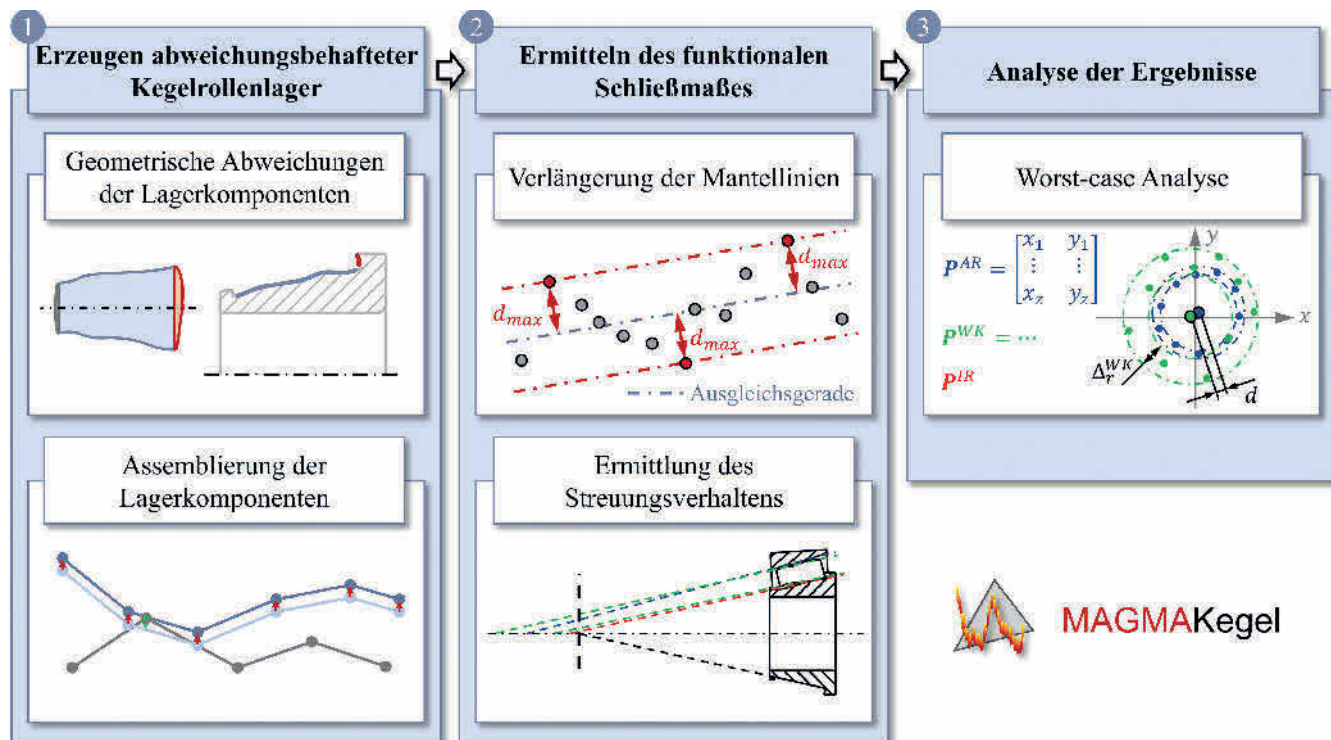
## Hydraulik-Leitungstechnik von Anschluss zu Anschluss

Reduzieren Sie Beschaffungsaufwände und optimieren Sie Materialflüsse und Lagerbestände. Senken Sie Montagezeiten und beugen Sie Montagefehlern vor.

Mit STAUFF als Ihr leistungsfähiger Partner für Fluidtechnik-Komponenten, Systeme und Dienstleistungen mit Mehrwert aus einer Hand.

Erfahren Sie mehr unter [www.stauffline.com](http://www.stauffline.com) und auf der Agritechnica ■ Halle 17 | Stand F41 vom 10. - 16. November 2019 in Hannover

**AGRI  
TECHNICA**  
THE WORLD'S NO. 1



**Bild 1** Übersicht über den Simulationsablauf des Softwarewerkzeugs „MAGMAKegel“ (Bild: Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/FAU Erlangen-Nürnberg / Schaeffler Technologies AG & Co KG)

Software ermöglicht Aussagen über den Einfluss geometrischer Abweichungen bei Wälzlager

# „MAGMAKegel“: Simulation abweichungsbehafteter Kegelrollenlager

Kegelrollenlager eignen sich hervorragend für tragfähige und führungsgenaue Lagerungen. Wie jedes reale Bauteil unterliegen jedoch auch Kegelrollenlagerkomponenten Maß-, Form- und Lageabweichungen. Diese Abweichungen haben Einfluss auf das Betriebsverhalten von Kegelrollenlagern. In einer Kooperation mit Schaeffler Technologies AG & Co. KG hat der Lehrstuhl für Konstruktionstechnik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg das Softwarewerkzeug „MAGMAKegel“ entwickelt, mit welchem sich Toleranzanalysen durchführen lassen, um ebendiese Auswirkungen geometrischer Abweichungen auf Kegelrollenlager zu quantifizieren. Im vorliegenden Beitrag wird das Softwarewerkzeug genauer beschrieben.

## 1 Einleitung und Motivation

Wälzlager sind hochbelastete Präzisionsmaschinenelemente, die in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt werden, um einen Kraftfluss und eine Relativbewegung zwischen Bauteilen zu ermöglichen. Hierbei sind unterschiedliche Kombinationen aus radial und axial wirkenden Kräften möglich. Das Kegelrollenlager ist ein Lagertyp, der aufgrund seiner Innengeometrie sowohl radial als auch axial hoch belastbar ist. Kegelrollen werden in der Regel paarweise in X- oder O-Anordnung verwendet und bieten die Möglichkeit, gezielt das Lagerspiel beziehungsweise die Vorspannung einzustellen. Dadurch sind extrem steife Lagerungen möglich, die eine präzise Führung über ein breites Drehzahl-spektrum hinweg erlauben.

Für eine ideale Führung ist jedoch notwendig, dass sich die verlängerten Mantellinien der Kegelflächen in einem Punkt auf der Lagerachse treffen. Kegelrollenlager in „X-Life“-Qualität der Firma Schaeffler Technologies AG & Co. KG bieten hierbei eine optimierte Geometrie, die eine erhöhte Laufgenauigkeit, höhere Lebensdauer und geringere Reibung ermöglichen. Hierfür werden spezielle Materialien und Fertigungsverfahren eingesetzt, die engere Toleranzen der Wälzlagerkomponenten ermöglichen.

Wie bei jedem realen Bauteil lassen sich jedoch auch in diesem Fall geometrische Abweichungen nicht gänzlich vermeiden [1]. Zusammen mit dem Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) stellt sich Schaeffler Technologies AG & Co. KG der Herausforderung, die Auswirkungen dieser geometrischen Abweichungen auf das Betriebsverhalten von Kegelrollenlagern quantifizierbar zu machen. Dies ermöglicht es, kritische Geometriemerkmale zu identifizieren und geeignete konstruktive oder fertigungstechnische Maßnahmen zu definieren. Zukünftig lässt sich so die Produktqualität weiter steigern. Gleichzeitig ist auch ein verbessertes Verständnis der Wirkzusammenhänge in Kegelrollenlagern möglich. Schaeffler Technologies AG & Co. KG kann so seinen Kunden künftig noch bessere Lösungen bedarfsgerecht anbieten.

Als Ergebnis der engen Kooperation zwischen Schaeffler Technologies AG & Co. KG und KTmfk wurde das softwarebasierte Werkzeug „MAGMAKegel“ (Methode zur Bewertung der Auswirkungen

von geometrischen Abweichungen auf das Betriebsverhalten von Kegelrollenlagern) entwickelt. Dieses wird im Folgenden vorgestellt.

## 2 Das Softwarewerkzeug MAGMAKegel

Bei MAGMAKegel handelt es sich um ein Softwarewerkzeug für die Toleranzanalyse von Kegelrollenlagern. Als solches orientiert es sich an den drei Hauptaufgaben der Toleranzanalyse [2]: der Repräsentation auftretender geometrischer Bauteilabweichungen, der Beschreibung des Systemverhaltens unter Berücksichtigung dieser Abweichungen und der Anwendung von geeigneten Analysetechniken zur Ergebnissbewertung. Bild 1 gibt einen Überblick über die Schritte, welche für eine Toleranzanalyse in MAGMAKegel notwendig sind. In den nachfolgenden Abschnitten wird auf die jeweiligen Schritte genauer eingegangen.

### 2.1 Repräsentation abweichungs-behafteter Kegelrollenlager

Die Repräsentation von abweichungs-behafteten Kegelrollenlagern beinhaltet zwei Schritte: Zuerst müssen die Wälzlagerkomponenten mit ihren spezifischen geometrischen Abweichungen erzeugt werden. Danach werden diese relativ zueinander positioniert, um so ein abweichungsbehaftetes Kegelrollenlager zu erhalten.

Insbesondere die Beschreibung der geometrischen Abweichung an den Bauteilen ist in modernen Toleranzsimulationen entscheidend [3]. Aktuell werden hierbei die Lagerringe sowie die Wälzkörper berücksichtigt. Dabei sind insbesondere die inneren Funktionsflächen von Interesse, also die Oberflächen, die im direkten Kontakt zu benachbarten Wälzlagerkomponenten stehen. Für diese Oberflächen wurden auf Basis von Messvorschriften, realen Messdaten sowie der Expertise von Schaeffler Technologies AG & Co. KG charakteristische Abweichungen bestimmt und in geeignete mathematische Beschreibungen überführt. Neben Maßabweichungen werden so auch Form- und Lageabweichungen an den Wälzlagerkomponenten berücksichtigt, wie zum Beispiel Profilabweichungen und Welligkeiten der Lauf- und Stirnflächen oder Abweichung des Neigungswinkels der konischen Flächen. Je nach Art der Abweichung können zudem weitere, vom gewählten Herstellungsverfahren abhängi-

ge, Spezifika definiert werden, wie etwa die dominanten Wellenordnungen einer Welligkeit oder die Form der Profilabweichung. Anschließend werden je Wälzlagerkomponente die Abweichungen zufällig erzeugt und überlagert, wodurch komplexe Oberflächen entstehen können.

Im nächsten Schritt werden auf Basis dieser Oberflächen die Wälzlagerkomponenten relativ zueinander positioniert. Am KTmfk wurden bereits mehrere Methoden zur Montagesimulation abweichungs-behafteter Bauteile entwickelt. Hierbei hat sich insbesondere der Einsatz diskreter Geometrierepräsentationen (sogenannte Skin Model Shapes) als vorteilhaft erwiesen [4]. Daher werden auch in MAGMAKegel die abweichungsbehafteten Oberflächen diskretisiert. Auf Basis des resultierenden Oberflächennetzes wird anschließend ein Ray-Tracing-Algorithmus eingesetzt, um die Komponenten des Kegelrollenlagers zu positionieren.

### 2.2 Ermittlung des funktionalen Schließmaßes

Um Zwangsschlupf im Wälzkontakt zu vermeiden, sollten sich die Verlängerungen der Mantellinien der Kegelrollenlagerkomponenten in einem Punkt auf der Lagerachse schneiden. Bei abweichungsbehafteten Kegelrollenlagern ist dieses Verhalten jedoch nur bedingt zu erwarten. Für die Bewertung der Funktionserfüllung ist daher ein Kriterium erforderlich, welches die Streuung der Geradenschar der verlängerten Mantellinie beurteilt. Hierfür ist zum einen ein geeigneter Ansatz notwendig, welcher die Verlängerung der abweichungsbehafteten Mantellinien beschreibt. Zum anderen ist es erforderlich, die Streuung windschiefer Geraden im 3D-Raum zu bewerten.

Für die Ermittlung der verlängerten Mantellinien wurden mehrere Methoden getestet und miteinander verglichen, z. B. unterschiedliche Filtertechniken oder Ausgleichstechniken, wie „Tschebyschow“- oder „Gauß“-Geraden. Die verschiedenen Ansätze haben dabei ihre spezifischen Vor- und Nachteile. So verhindern die diversen Einstellmöglichkeiten hinsichtlich Faltungsmatrix und Filtermaske eine intuitive Nutzung von Filtermethoden. Dafür sind Filtertechniken in der Regel einfach zu implementieren. „Tschebyschow“-Geraden sind mathematisch anspruchsvoll und erfordern gegebenenfalls die Implementierung zusätzlicher Funktionalität, wie ►



die Ermittlung der konvexen Hülle. Andererseits ähneln sie dem in DIN EN ISO 5459 [5] beschriebenen Assoziationsverfahren zur Ermittlung von Anlagegeraden. Auch die effiziente Bestimmung der „Gauß“-Geraden ist im 3D-Fall anspruchsvoll und erfordert beispielsweise die Bestimmung des Eigenvektors der Kovarianzmatrix der Oberflächenknoten [6]. „Gauß“-Geraden sind allerdings vergleichsweise robust gegenüber Ausreißern und wurden daher für die Ermittlung der verlängerten Mantellinien gewählt.

Um im nächsten Schritt die Streuung der verlängerten Mantellinien bewerten zu können, wird das ursprüngliche 3D-Problem auf eine 2D-Projektionsebene reduziert. Hierzu wird auf Basis der nominellen Lagergeometrie die Position auf der Lagerachse bestimmt, an der sich die verlängerten Mantellinien der idealisierten Lagerkomponenten schneiden. Die Projektionsebene, welche senkrecht zur Lagerachse des nominellen Kegelrollenlagers aufgespannt ist, befindet sich an dieser Position. Anschließend lassen sich die Schnittpunkte zwischen der Projektionsebene und den verlängerten Mantellinien der abweichungsbehafteten Lagerkomponenten bestimmen. Dadurch ergeben sich unterschiedliche Punktbilder, die zusammen mit der Information, welcher Schnittpunkt zu welchem Wälzkörperkontakt gehört, ausgewertet werden können.

### 2.3 Analyse der Ergebnisse

In der Toleranzanalyse wird häufig zwischen Worst-case-Analysetechniken und statistischen Analysetechniken unterschieden [2]. Worst-case-Analysetechniken erlauben bereits mit vergleichsweise wenigen Simulationen eine qualitative Aussage über den Einfluss einer Eingangsgröße. Allerdings ist es mit diesen Ansätzen nicht möglich, Informationen über die Unsicherheiten der unterschiedlichen Abweichungen mit in die Analyse einzubeziehen.

Statistische Analysetechniken wie die Monte Carlo-Simulation ermöglichen hingegen die Auswertung der Unsicherheit einer Zielgröße. Zudem können Methoden der globalen Sensitivitätsanalyse eingesetzt werden, um detaillierte Informationen über den Einfluss der einzelnen Eingangsgrößen auf diese Unsicherheit zu erhalten. Für statistisch belastbare Aus-

sagen sind jedoch häufig mehrere tausende Simulationsläufe notwendig.

Im Fall von MAGMAKegel kommt hinzu, dass es sich bei der Funktionsgröße nicht um eine skalare Zielgröße, sondern eine vektorielle Größe handelt. Dies erschwert eine statistische Auswertung und macht beispielsweise den Einsatz von Ähnlichkeits- oder Distanzmaßen notwendig. Im ersten Schritt werden die Ergebnisse daher mithilfe von Worst-case Analysen ausgewertet.

## 3 Zusammenfassung und Ausblick

KTmfk und Schaeffler Technologies AG & Co. KG haben in enger Kooperation das Softwarewerkzeug MAGMAKegel für die Toleranzanalyse von Kegelrollenlager entwickelt. Hierbei können virtuelle Lagerkomponenten mit spezifischen Abweichungen generiert und zu Kegelrollenlagern assembliert werden. Anschließend lassen sich die Mantellinien der abweichungsbehafteten Lagerkomponenten verlängern und mithilfe einer Projektionsebene auswerten. Dadurch ist es möglich, Aussagen über den Einfluss geometrischer Abweichungen auf die Kinematik von Kegelrollenlagern zu treffen.

Schaeffler Technologies AG & Co. KG kann bereits auf eine Vielzahl effizienter Berechnungswerkzeuge zur Auslegung von Wälzlager zurückgreifen. Durch die Integration von MAGMAKegel in die bestehende Softwarearchitektur und die Erweiterung der Funktionalität können zusätzliche Synergien geschaffen werden. Die gesteigerte Realitätsnähe der unterschiedlichen Simulationsmodelle erlaubt ein verbessertes Verständnis für die Wirkzusammenhänge und ermöglicht es, gezielte konstruktive oder fertigungstechnische Anpassungen vorzunehmen. Schaeffler Technologies AG & Co. KG ist stets bestrebt, seine Produktqualität zu erhöhen, um seinen Kunden die bestmöglichen Lösungen anbieten zu können. MAGMAKegel bietet hier eine weitere Möglichkeit, Verbesserungspotenzial auszuschöpfen. ■

*Der Lehrstuhl für Konstruktionstechnik dankt Schaeffler Technologies AG & Co. KG für die finanzielle Unterstützung und die erfolgreiche Kooperation.*

### Literatur

- [1] Srinivasan, V.: Computational Metrology for the Design and Manufacture of Product Geometry: A Classification and Synthesis. Journal of Computing and Information Science in Engineering, Bd. 7 (2007), Nr. 1, S. 3–9
- [2] Qureshi, A. J.; Dantan J.-Y.; Sabri, V.; Beaucaille, P.; Gayton, N.: A statistical tolerance analysis approach for over-constrained mechanism based on optimization and Monte Carlo simulation. Computer-Aided Design, Bd. 44 (2012), S. 132–142
- [3] Schleich, B.; Wartzack, S.: How to determine the influence of geometric deviations on elastic deformations and the structural performance? Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Bd. 227 (2013), Nr. 5, S. 754–764
- [4] Schleich, B.; Wartzack, S.: Skin Model Shapes: ein neuer Ansatz zur Toleranzsimulation auf Basis von Punktwolken und Oberflächennetzen. Konstruktion, Bd. 69 (2017), Nr. 4, S. 86–90
- [5] DIN EN ISO 5459:2013–05, Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Geometrische Tolerierung — Bezüge und Bezugssysteme (ISO 5459:2011)
- [6] Shakarji, C. M.; Srinivasan, V.: Theory and Algorithms for Weighted Total Least-Squares Fitting of Lines, Planes and Parallel Planes to Support Tolerancing Standards. Journal of Computing and Information Science in Engineering, Bd. 13 (2013), S. 031008–1–031008–11



**Alexander Aschenbrenner**, M. Sc.  
**Dr.-Ing. Benjamin Schleich**  
**Dr.-Ing. Stephan Tremmel**  
**Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack**  
 alle:  
 Lehrstuhl für Konstruktionstechnik  
 FAU Erlangen-Nürnberg  
 Martensstraße 9  
 91058 Erlangen  
 Tel.: 0 91 31 / 85-2 32 75  
 E-Mail: schleich@mfk.fau.de  
 www.mfk.fau.de

**Dr.-Ing. Thomas Stahl**  
 Schaeffler Technologies AG & Co KG  
 Georg-Schäfer-Str. 30  
 97421 Schweinfurt  
 www.schaeffler.com



**Konfigurator für Bolzen** mit Einstich von mbo Oßwald – einfach und schnell zum individuellen Bolzen. (Bild: mbo Oßwald)

## Bolzen-Konfigurator: jetzt auch mit Einstich

Sie benötigen Bolzen für eine Neukonstruktion, haben einen Lieferengpass oder möchten Ersatzteile beschaffen? Mit dem mbo Oßwald-Bolzen-Konfigurator gelingt die Umsetzung schnell und unkompliziert. Ganz gleich ob Musterteile, Serienteile oder Ersatzteile – der Bolzen-Konfigurator bietet die passende Lösung im Handumdrehen. Neben den bewährten DIN-Bolzen ist es jetzt erstmals möglich Bolzen mit Einstich zu konfigurieren.

Kombinieren Sie Bolzenform, Material, Wellendurchmesser und Sicherungstyp mit der gewünschten frei definierbaren Länge oder Klemmlänge. Der Konfigurator berechnet auf Knopfdruck selbstständig die benötigten Mindestmaße, erstellt die entsprechende Maßzeichnung und zeigt Preis und aktuelle Lieferzeit an. Jetzt nur noch die gewünschte Stückzahl eingeben und ab in den Warenkorb. Das ausgewählte Sicherungselement in der notwendigen Stückzahl kann bequem per „Check-Box“ zum Warenkorb hinzugefügt und bestellt werden. Zur Auswahl stehen Bolzen mit und ohne Kopf in Material Stahl und Edelstahl. Die auf der Achse angebrachte umlaufende Nut kann dabei für diverse Standard-Sicherungstypen ausgelegt werden: Sicherungsscheibe DIN 6799, Sicherungsring DIN 471, SL-Sicherung, KL-Sicherung und Bajonett-Clip. Natürlich bietet der Bolzen-Spezialist auch für dieses Tool die bewährten Online-Vorteile im Gegensatz zum konventionellen Bestellweg:

- Losgröße 1
- Sofortauskunft über Verfügbarkeit und Lieferzeit
- Produktspezifische Preisvorteile
- Kein Mindermengenzuschlag
- Versandkostenfrei in Deutschland ab 25

Usability, eine intuitive Bedienung und die Integration von 50 Jahren Erfahrung im Bereich der Verbindungstechnik waren im Zuge der Entwicklung des Konfigurators die Maxime, um das Leben aller Tüftler und Beschaffer etwas einfacher zu machen. Werden dennoch Funktionalitäten vermisst freut sich der Produzent auf direktes Feedback.

mbo Oßwald GmbH & Co KG, [www.mbo-osswald.de](http://www.mbo-osswald.de)

## Leistungsfähige Keilwellen

Zusätzlich zu Keilwellen aus den Werkstoffen C45 und Edelstahl 14301 bietet Mädler seit neuestem auch Keilwellen aus 42CrMo4 im Lieferprogramm. Aufgrund seiner besonderen Materialeigenschaften erlaubt der Vergütungsstahl eine höhere Streckgrenze, Biege-wechselfestigkeit und Flächenpressung, wodurch sich in der Konstruktion wahlweise die Belastung der Keilwelle steigern oder ihre Dimensionierung verringern lässt. Dank geringerer Massekräfte sind so Energieeinsparungen sowie höhere Beschleunigungen und schnellere Drehzahlwechsel möglich. Zudem sind die Keilwellen aus 42CrMo4 für hohe Verdrehkräfte bei axialer Verschiebbarkeit geeignet und bieten damit zahlreiche Möglichkeiten im Sondermaschinenbau.

Als Standard sind die Keilwellen aus 42CrMo4 von Mädler in den Längen 1000 mm, 1500 mm, 2000 mm, 3000 mm sowie 6000 mm verfügbar. Eine ständige umfangreiche Lagerhaltung ermöglicht die sofortige Lieferung. Auch Sonderlängen auf Kundenwunsch bis 6000 mm bietet Mädler dank der eigenen Fertigung – nach Zeichnung oder Muster exakt auf Maß. Bei Bedarf übernehmen die Spezialisten für Antriebs- und Maschinenbaulösungen auch die Bearbeitung der Enden sowie das nachträgliche Richten.

Mädler GmbH, [www.maedler.de](http://www.maedler.de)



**Mit neuen Keilwellen** aus 42CrMo4-Vergütungsstahl erweitert Mädler sein Sortiment an sofort lieferbaren Keilwellen in Längen bis 6000 mm. Ihre maximale Geradheit beträgt 0,8 mm/m und die Torsion max. 0,5 mm/m. (Bild: Mädler)

**Mikroschrauben**  
ab 1,6 mm Gewindeaußendurchmesser  
und 2,0 mm Schaftlänge

Precision fasteners · Cold forming technology

# 2D-Codes in der industriellen Kennzeichnung

Kennzeichen mit 2D-Codes haben inzwischen weltweit in vielen Produktionsanlagen Einzug gehalten und optimieren als Informationsträger die Konstruktion und den Fertigungsprozess.

Dabei ist beispielsweise die „lückenlose Rückverfolgbarkeit“ (Englisch: Tracing) von Komponenten und Einzelelementen zu einer häufig angestrebten Zielgröße der Automatisierungstechnik geworden.

**D**ie Realisierung des Tracing setzt voraus, dass bei den betreffenden Teilen alle wichtigen Daten auf maschinell lesbaren und beständigen Kennzeichen aufgebracht sind. Deshalb werden für solche Zwecke Code-gestützte Kennzeichnungen eingesetzt. Dazu gehören 1D-Codes ebenso wie mehrdimensionale 2D-Codes. Die neueren 2D-Codes haben hierbei einen rasanten Bedeutungszuwachs erlebt, weil sie im Vergleich zu den

1D-Codes (Strich-Codes, Barcode) oder der Kennzeichnung mit Buchstaben und Zahlen ein Vielfaches an Information aufnehmen – und wiedergeben können. Außerdem bietet der Data-Matrix-Code eine hohe Fehlerredundanz. Während bei einem konventionellen Kennzeichen mit Ziffern und Buchstaben bei Abnutzung die Ziffer ,7‘ leicht als ,1‘ erscheint oder die ,8‘ als ,6‘, ist bei der Data-Matrix-Codierung die fehlerfreie Lesbarkeit des Dateninhaltes auch bei 25 Prozent zerstörter Darstellung noch gegeben. Unter den verschiedenen

2D-Codes wie Stapel-, Dot- und Composite-Code (Kombination von Strichcode mit Matrixkomponente) hat sich vor allem der 2D-Data-Matrix-Code durchgesetzt.

## Der 2D-Code als wichtiges Element der Prozesssteuerung

Aus der maschinenlesbaren Kennzeichnung via Code lassen sich für den Produktionsprozess neben der Rückverfolgbarkeit weitere Potenziale schöpfen. Dazu

Prüfkriterium	Beschreibung
Kontrast	Grauwertdifferenz zwischen hellen und dunklen Modulen sowie der Übergänge zur Ruhezone.
Modulation	Verhältnis zwischen Schwarz- und Weißanteil. Ein ausgewogenes Verhältnis ist ideal für einen hohen Qualitätswert.
Defekte feste Muster	Feste Muster sind die L-Border, die Ruhezone sowie das gleichmäßig unterbrochene Auflösungsmuster. Je mehr Fehler die Muster aufweisen, desto geringer der Qualitätswert.
Axiale Verzerrung	Verhältnis von horizontaler zu vertikaler Ausdehnung. Für einen hohen Qualitätswert ist ein ausgewogenes Verhältnis ideal.
Allgemeine Verzerrung	Wert für die Beurteilung der generellen Form des 2D-Codes. Ideal ist ein gleichmäßig angeordnetes Muster.
Fehlerkorrektur	Kennzahl für die korrigierten Fehler.
Wachstum	Wert für die Modulgröße.
Gesamtbewertung	Gesamtergebnis der Einzelbewertungen.

Quelle: [www.bci-gmbh.de](http://www.bci-gmbh.de) [4]

**Tabelle 1** Normgebundene Prüfkriterien für die Darstellungsqualität von 2D-Codes. (Bild: PrintoLUX)



zählt Fachautor Bernhard Lenk in einem aktuellen Aufsatz über „Codes in der industriellen Kennzeichnung“ [1] unter anderem:

- eindeutige Zuordnung von Material und Information,
- eindeutige Zuordnung von Material und Zeit,
- durchgängige Objektverfolgung (Tracking),
- Automatisierung von Transport- und Materialflüssen,
- Kosteneinsparung durch schnelles Auffinden von Objekten,
- permanente, automatisierte Inventur
- nachhaltige Wartungs- und Servicekonzepte,
- Unterstützung von Industrie 4.0 durch Mensch-Maschine- und Maschine-Maschine-Schnittstellen.

Wenn sich dieses Bündel an Optimierungsmöglichkeiten auch nicht mit jedem eingesetzten 2D-Code in ganzer Fülle realisiert, so sind schon Einzelelemente davon so bedeutsam, dass Kennzeichnungsrichtlinien großer Produktionsbetriebe in immer größerer Zahl als Standard gesetzt werden. Was beispielsweise für deutsche Automobilkonzerne gilt, bei denen selbst Kabelschilder neben ihrer vierzeiligen Textkennzeichnung eine QR-Codierung gleichen Inhalts erhalten, weil dadurch die Lesbarkeit einfacher und schneller vorstatten gehen kann.

Eine umfangreichere Verwendung des QR-Codes in Konstruktion und Produktion schildert die Alfred Kärcher GmbH & Co. KG auf der „Plattform Industrie 4.0“ [2]. Bei der Herstellung von Scheuersaugmaschinen bietet das Unternehmen „... je nach Kundenwunsch 40 000 Varianten“ an. Für die Produktion dieser Maschinen gilt nach Darstellung des Unternehmens: „Zum Fertigungsbeginn einer neuen Maschine wird ein QR-Code erzeugt, mit dessen Hilfe alle produktionsrelevanten Informationen abgerufen werden können. Diese sind ebenfalls auf einem RFID-Chip hinterlegt, der sich seitlich am Werkstückträger befindet, auf dem das vom Kunden individuell zusammengestellte Gerät Stück für Stück entsteht. Die Daten werden an jeder Arbeitsstation ausgelesen – anschließend erscheinen detaillierte Montagehinweise auf dem Bildschirm des entsprechenden Arbeitsplatzes. Die dort zur Fertigung benötigten Einzelteile werden über ein Materialfluss-System (Kanban) zur Verfügung gestellt, das sich am tat-

sächlichen Verbrauch der Produktionslinie orientiert: Diese Methode ist sehr flexibel und ermöglicht es, lokal vorzuhaltende Materialbestände zu verringern und somit den Fertigungsprozess zu optimieren... Am Ende der Montagelinie steht die Prüfung: Nachdem die vollständige Funktionsfähigkeit des Bodenreinigers sichergestellt worden ist, wird dieser über einen Scan des QR-Codes als fertig montiert und geprüft im System verbucht.“

Auch für den fortgeschrittenen Grad an automatisierter Fertigung spielt der Einsatz von 2D-Codes eine zunehmend große Rolle. So gibt es bereits Montagehallen mit codierten Fahrstrecken für automatisierte Bestückungswagen. In den Boden eingelassene Codes und Lesesysteme an den darüber hinweg fahrenden Wagen steuern für die Bestückung der Montageeinheiten die Richtigkeit von Material, Menge und Zeit.

Außerdem verschaffen 2D-Code-Kennzeichnungen Vorteile durch das damit möglich gewordene Verlinken von Komponenten mit übergeordneten Systemen sowie durch die Förderung einer transparenten und einfach zugänglichen technischen Dokumentation.

Für Konstrukteure ist es vor dem Hintergrund der skizzierten Entwicklung

wichtig geworden, bei der Planung von Maschinen und Anlagen zu erkennen und einzubeziehen, welche Elemente und Komponenten mit 2D-Codes zu versehen sind, und welche Funktionen diesen Codes zugewiesen werden sollen.

## Herstellung von 2D-Codes – ein Verfahrensvergleich

Bezügliche der Herstellung von 2D-Code Kennzeichnungen finden sich in den Lastenheften beziehungsweise Kennzeichnungsvorschriften vieler Produktionsunternehmen als einsetzbare Optionen die Lasergravur und das „PrintoLUX“-Verfahren, eine erfolgreich gewordene Variante des Digitaldrucks. Diesen beiden Verfahren traut man am meisten zu, wenn darstellungsstarke und hoch beständige 2D-Code Kennzeichnungen auf Schildmaterial aufzubringen sind. Ob sich unter den beiden favorisierten Verfahren ein „Best of“ ermitteln lässt und ein Qualitätsunterschied hinsichtlich der jeweiligen 2D-Code-Darstellung festzustellen ist, sollte ein Test ermitteln, der im Dezember 2017 von einem renommierten Prüflabor vorgenommen wurde. Aufbau und Testergebnisse sind in dem oben erwähnten Reader „Herstellungsverfahren für die industrielle Kennzeichnung“ ausführlich dokumentiert [3].

Das Prüflabor „Barcode Verifier, Technical Support & Documentation“ der REA Elektronik GmbH unterzog dabei die Darstellungsqualität von 2D-Codes einem Vergleichstest. Die zur Prüfung vorgelegten Codes waren durch CO<sub>2</sub>-Laser, Faser-Laser und Kristall-Laser sowie durch das PrintoLUX-Verfahren auf Aluminiumschilder gebracht worden. Die in Tabelle 1 gezeigten Prüfkriterien kamen in Anlehnung an die Norm DIN ISO/IEC 15415 zum Einsatz.

Bei allen in dem Test hergestellten Mustern mit 2D-Codes wurde Aluminium als Trägermaterial genutzt, da dieses Schildmaterial im Anlagenbau und Maschinenbau für Kennzeichnungen weit verbreitet ist. Günstige Materialkosten und die einfache Bearbeitung mittels mechanischer Gravur, Stanzen, Bohren und Fräsen sprechen für diese Materialwahl.

Die Bewertung der Einzel- und Gesamtergebnisse erfolgte über einen numerischen Wert (4 = sehr gut, 0 = schlecht) und nach dem amerikanischen Schulnotensystem mit Buchstaben (A bis D beziehungsweise F). ▶



**Bild 1** Fachbuch zum industriellen Kennzeichnen mit ausführlichen Informationen zum Druck von 2D-Codes: Hermann Oberhollenzer (Hrsg.), Herstellungsverfahren für die industrielle Kennzeichnung, Springer, Heidelberg 2018, 320 Seiten, ISBN 978-3-662-55331-2, Hardcover, 64,99 Euro; E-Book: (<https://www.springer.com/de/book/9783662553305>)

## Klare Ergebnisse

Das PrintoLUX-Verfahren erreichte hinsichtlich der Darstellungsqualität die beste Gesamtbewertung. Auch der Kristall-Laser (Yag-Lasergravur) verdiente sich noch einige Pluspunkte. Dahingegen bekamen Faser-Laser und die beiden geprüften CO<sub>2</sub>-Laser schlechte Gesamtnoten.

Auch beim Kontrastwert, dem in der Praxis hohe Beachtung zukommt, erzielte das PrintoLUX-Verfahren mit 48 % das beste Ergebnis, gefolgt von der CO<sub>2</sub>-Lasergravur mit dem Gerät Gravograph LS 100 (28 %). Faser- und Kristall-Laser erreichten mit 22 % beziehungsweise 21 % eine Bewertungsstufe schlechter. Der CO<sub>2</sub>-Laser Trotec Speedy 400 fiel komplett durch und konnte keiner Bewertung zugeführt werden (N/A no answer).

Insgesamt gibt der Vergleich ein überdurchschnittliches Leistungsvermögen des PrintoLUX-Verfahrens zu erkennen und legt nahe, beim Einsatz der Lasergravur die spezifische Variante mit viel Bedacht auszuwählen. Der Einsatz von Gas-Laser-Geräten empfiehlt sich gemäß der Testergebnisse nicht. ■

### Literatur

- [1] Bernhard Lenk, Codes in der Industriellen Kennzeichnung, Kapitel 7 in: Hermann Oberhollenzer (Hrsg.), Herstellungsverfahren für die industrielle Kennzeichnung, Springer, Heidelberg 2018, 320 Seiten, ISBN 978-3-662-55331-2, Hardcover 64,99 Euro; E-Book: (<https://www.springer.com/de/book/9783662553305>).
- [2] <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Anwendungsbeispiele/084-floor-care-zukunft/beitrag-floor-care-zukunft.html>

- [3] Helmuth Bischoff, Praxistest zur Darstellung von 2D-Codes, Kapitel 12, in: Hermann Oberhollenzer (Hrsg.), Herstellungsverfahren für die industrielle Kennzeichnung, siehe [1]
- [4] Industrielle Bildverarbeitung (2017) Resource document. bci GmbH. [www.bci-gmbh.de](http://www.bci-gmbh.de). Zugriffen: 16. Dezember 2017



**Hermann Oberhollenzer**

Kontakt:  
PrintoLUX GmbH  
Dürkheimer Straße 130  
67227 Frankenthal  
Tel. 0 62 33 / 60 00-902  
E-Mail: [h.oberhollenzer@printolux.com](mailto:h.oberhollenzer@printolux.com)  
[www.printolux.com](http://www.printolux.com)

## Integrierbares Nadelmarkiersystem markiert blitzschnell



In dem kleinen, aber dennoch sehr robusten Nadelmarkierer „e10 i-speed“ von SIC Marking steckt die „Continuous-Vibrating-Marking“-Technologie, mit der bis zu 10 Zeichen pro Sekunde markiert werden können. (Bild: SIC Marking)

Die SIC Marking Gruppe präsentiert den „e10 i-speed“-Nadelmarkierer mit einer Größe von 215 x 107 x 61 mm. Dieser ist besonders klein und kompakt, verfügt aber im Gegensatz zu den herkömmlichen elektromechanischen Nadelmarkierern zusätzlich über einen Druckluftanschluss. So wird eine wesentlich höhere Schlagfrequenz ermöglicht, die eine schnellere Markierung mit bis zu 10 Zeichen pro Sekunde ergibt. Dadurch sind deutliche Produktivitätssteigerungen möglich.

Trotz seiner geringen Größe ist der Nadelmarkierer sehr robust. Der e10 i-speed hat eine Markierfenstergröße von 50 x 20 mm. In ihm steckt die sogenannte „Continuous-Vibrating-Marking“-Technologie. Sie ist eine Variante des Nadelprägens, bei der die Nadel während ihrer Bewegung vibriert, um eine kontinuierliche Markierung zu erzielen. Die Frequenz kann durch Einstellungen der Bewegungsgeschwindigkeit entlang der X- und Y-Achsen gesteuert werden. Mit dem e10 i-speed ist jede Montageausrichtung möglich.

Der neue Nadelmarkierer ist mit einer widerstandsfähigen 60-mm-Karbidnadel ausgestattet, die eine schnelle und leistungsfähige Markierung ermöglicht. Der Nadelmarkierer markiert beliebige Materialien, auch gehärteten Stahl. Selbst schwierige Oberflächen sind mit dem e10 i-speed kein Problem. Der neue Markierkopf i-speed lässt sich ohne Probleme mit den Standard Controller e10 verbinden. Bestehende Anlagen mit e10-Kontrollern lassen sich ohne großen Aufwand umrüsten.

Darüber hinaus helfen die kompakten Abmessungen des Markierkopfes beim unkomplizierten Einbau und die mannigfaltigen Kommunikationsmöglichkeiten bei der Integration in übergeordnete Industriernetzwerke – und zwar ohne zusätzliche Gerätschaften. Die Systeme sind mit Digital I/O, Ethernet TCP/IP und RS232 ausgestattet. Auch bieten sie weitere Funktionen zur Anbindung an andere Geräte. Der neue Ritzmarkierer kann sehr einfach mit Profinet, Profibus und Ethernet/IP in Produktionsumgebungen eingebunden werden.

SIC Marking GmbH, [www.sic-marking.de](http://www.sic-marking.de)

# Fachteil Ingenieur-Werkstoffe



Vollautomatische Roboterentnahme im Auslauf einer Rollen-Tiefziehanlage. Bild © Klaus Vollrath

## COMPOSITES

Einsatz endlosfaserver-  
stärkter thermoplastischer  
Verbundwerkstoffe

## KUNSTSTOFFE

Transportmittel  
für die  
Produktions-Logistik

## WERKSTOFFWOCHE

Neuheiten und  
Trends bei der  
Werkstoffentwicklung



Werkstoffwoche

# Treffpunkt für Werkstoffwissenschaftler

Für Werkstoffwissenschaftler und Industrieanwender ist die Dresdener Werkstoffwoche zu einer festen Größe geworden. Bereits zum dritten Mal wurde sie vom Stahlinstitut VDEh und der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e. V. organisiert.

TEXT: Annedore Bose-Munde

**V**om 18. bis 20. September 2019 veranstalteten die Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V. (DGM) und das Stahlinstitut VDEh mit Unterstützung zahlreicher weiterer Verbände zum dritten Mal die Werkstoffwoche, die im zweijährlichen Turnus stattfindet. In diesem Jahr lockte sie mitsamt der Fachmesse „Werkstoffe für die Zukunft“, dem angegliederten Kongress, sowie den zahlreichen Gastveranstaltungen und Workshops etwa 1.500 Teilnehmer in die Messe Dresden.

Auch die 53. Metallographie-Tagung und verschiedene BMBF Veranstaltungen fanden in diesem Rahmen statt. Schwerpunktthemen der diesjährigen Werkstoffwoche waren die Additive Fertigung sowie die Biologisierung und die Digitalisierung der Werkstofftechnik. Aber auch Themen wie Leichtbau und Konstruktionswerkstoffe, Funktionswerkstoffe, Hybride Werkstoffe, Pulvermetallurgie und Sinterwerkstoffe, Ressourceneffizienz, Smart und Safer Materials, Soft Robotik, Surface Engineering, Tomographische Methoden, Energietechnik, Infrastruktur, Werkstoffverhalten oder Zelluläre Werkstoffe wurden beleuchtet.



**Bild 1** Das Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH (IHD) ist eine der größten deutschen Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der Holzwirtschaft. Hier werden unter anderem Faserwerkstoffe für verschiedene Anwendungen entwickelt.  
Bild © IHD

## Biologisierung der Werkstoffe im Fokus

Biobasierte Werkstoffe rücken zunehmend in das Blickfeld von Entwicklern, da diese besonders ressourcenschonend

sind und teilweise sogar das Potenzial haben, mit einem CO<sub>2</sub>-Guthaben in die Betriebsphase des Bauteillebens zu starten. Bereits am Vorabend der Werkstoffwoche stand daher zu einem Kaminabend das Thema „Die Biologi-



**Bild 2** Wissenschaftler des Fraunhofer IKTS in Dresden entwickelten keramische Technologiekonzepte zur Auslegung hocheffizienter Power-to-X-Prozesse.

Bild © IKTS

isierung der Werkstofftechnik – Ein neuer Megatrend?“ im Fokus einer Podiumsdiskussion.

„Wir können sehr viel von der Natur lernen. Wir müssen verstehen, warum sich bestimmte Mechanismen durchgesetzt haben“, sagt Prof. Dr. Thomas Scheibel vom Lehrstuhl für Biomaterialien an der Universität Bayreuth. Und er verweist darauf, dass fachbereichsübergreifende Schnittstellen wichtig sind. „Der Ingenieur muss die Denk-

erschlossen werden können, sagt sie: „Die Natur verschwendet nicht. Der Reichtum dieser Mechanismen muss stärker berücksichtigt werden.“

Ein weiteres Highlight des Kaminabends war das 25-jährige Bestehen des Materialforschungsverbund Dresden e.V. (MFD). Prof. Dr. Brigitte Voit, Vorstandsvorsitzende des MFD verwies in ihren Ausführungen auch darauf, dass Forschung international aufgestellt sein muss.

### Fachausstellung und Kongress geben Impulse

Dresden hat sich in den vergangenen Jahren zu einer Hochburg der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik entwickelt: mit der TU-Dresden, zahlreichen Fraunhofer-Instituten, und der entsprechenden industriellen Infrastruktur. Somit diente auch die Werkstoffwoche 2019 als eine Plattform zur Vernetzung und als Impulsgeber für Innovationen aus der Industrie und Wissenschaft. Dirk Hilbert, Oberbürgermeister der Landeshauptstadt Dresden, verwies in seiner Eröffnungsrede darauf, dass in Dresden etwa 2000 Wissenschaftler am Thema Werkstoffe arbeiten.

Inzwischen engagieren sich mehr als 15 Verbände und Institutionen zur Werkstoff-

woche. Intention der Veranstalter ist es, neben einer kontinuierlich wachsenden Fachmesse auch einen Kongress mit und für hochrangige Wissenschaftler und Industrievertreter anzubieten, welcher zum Pflichttermin für alle Erfinder, Entwickler und Entscheider der Werkstoffbranche werden soll. Entsprechend umfangreich war auch diesmal das thematische Angebot. Neben interessanten Plenarvorträgen, verschiedenen Symposien und Posterbeiträgen zeigte die Fachmesse „Werkstoffe für die Zukunft“ die große Bedeutung und Vielfalt der Werkstoffe. Podiumsdiskussionen trugen zudem dazu bei, Teilnehmer über innovative Produkte, Eigenschaften und Herstellungsmethoden zu informieren sowie Anwendungsbereiche und Grenzen neuer Werkstoffe aufzuzeigen. ■

#### Annedore Bose-Munde

Fachjournalistin in Erfurt  
info@bose-munde.de  
www.bose-munde.de

#### Kontakt

WeichertMehner  
Unternehmensberatung für Kommunikation  
GmbH & Co. KG  
An der Dreikönigskirche 5  
01097 Dresden  
info@weichertmehner.com  
www.weichertmehner.com

## „Die Natur verschwendet nicht.“

weise des Biologen kennen und umgekehrt“, so Scheibel.

Das unterstreicht auch Dr. Rosita Cotton, Forschungsreferentin im Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Bei vielen Schlüsseltechnologien überwiege derzeit der ingenieurtechnische Ansatz, die Biologie stehe eher im Hintergrund. Das Ziel der Förderung sei die Zusammenarbeit der Bereiche. Mit Blick auf die Potenziale, die gemeinsam

Tiefziehen

# Transportmittel für die Produktions-Logistik

Designer moderner Massenprodukte sollten auch die Details der für ihre Herstellung benötigten Prozessketten berücksichtigen. Abläufe und Logistik müssen genauso sorgfältig geplant werden wie das Produkt selbst. Die Konzeption der hierfür erforderlichen Transporthilfsmittel erfordert sehr viel Know-how sowie gemeinsames Engineering von Zulieferer und Kunde.

TEXT: Klaus Vollrath

**D**ie Tiefziehoperation allein reicht als Leistung heute nicht mehr aus. Gefragt sind vielmehr fertige, direkt einsetzbare Produkte. „Zum Design moderner Produkte gehört heute auch die Auslegung der entsprechenden Prozessketten und Produktions-Hilfsmittel“, sagt Reto Grütter, Geschäftsführer der Grütter Kunststoff + Formen AG in Hombrechtikon (Schweiz). Hierzu zählen auch die Lager- und Transporthilfsmittel sowohl für den innerbetrieblichen Transport als auch für den Transport zwischen den jeweiligen Unternehmen. Angesichts heutiger Anforderungen an Qualität und Oberflächenzustand selbst einfacher mechanischer oder mechatronischer Komponenten beziehungsweise Baugruppen erfolgt dies immer seltener als Schüttgut. Stattdessen wird zunehmend Wert auf Vereinzelung und orientierte Lage der Teile gelegt, um diese vor Schäden durch Stöße, Reibung oder Korrosion zu schützen. Ein weiterer wesentlicher Faktor ist die immer weiter gehende Automatisierung der Prozesse. Dies erfordert die lagerrichtige und örtlich definierte Position der Teile im Transportgebinde, damit sie von geeigneten Handlingsystemen ohne menschliches Zutun mittels Pick and Place-Operationen ent-



**Bild 1** Robuste, zweiteilige Transportunterlage für den Maschinenbau. Mehrweg-Unterschale aus schlagzähem, chemisch beständigem HDPE sowie bauteilspezifischer Einweg-Transporteinsatz aus ABS.

Bild © Klaus Vollrath

nommen beziehungsweise für Folgeprozesse wieder abgelegt werden können. Dazu sind entsprechend spezialisierte und auf die Teileigenschaften individuell angepasste Behälter beziehungsweise Unterlagen nötig.

## Lösung komplexer Aufgabenstellungen

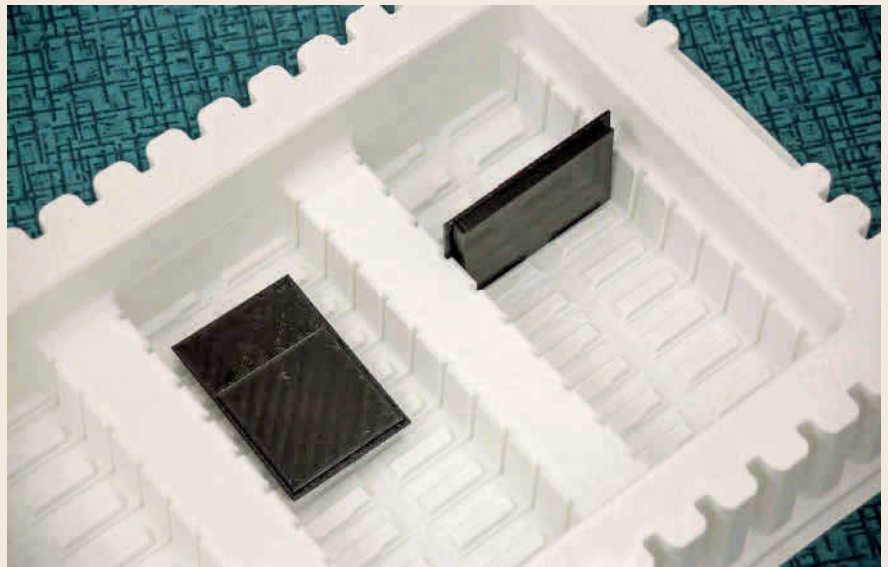
„Dabei sind oft sehr komplexe Aufgabenstellungen zu lösen, die eine möglichst frühzeitige Einbindung des Her-



stellers solcher Transportmittel parallel zur Entwicklung der Teile selbst nahelegen“, ergänzt Erich Schnyder, Projektverantwortlicher bei Grütter. Neben der Schonung und dem Schutz der Bauteile spielen hierbei auch Aspekte wie Gewicht, Platzbedarf, Sauberkeit sowie die Lebensdauer der Verpackungen, die oft als Tray aus tiefgezogenem Kunststoff ausgelegt sind, eine wichtige Rolle. Hinzu kommen noch weitere Fragen, zum Beispiel bezüglich Abrieb, Reinigungsmöglichkeit, Stapelbarkeit sowie der Platzbedarf beim Leertransport zwischen den jeweiligen Zielpunkten innerhalb der Prozesskette. Die Lösung und Optimierung solcher Aufgabenstellungen erfordert Spezialisten, welche sich mit den hierfür eingesetzten Werkstoffen, ihren unterschiedlichen Verarbeitungseigenschaften sowie mit der entsprechenden Logistik auskennen. Heute umfassen diese Leistungen zudem oft noch weitere Aspekte wie Identifizierung und Statusrückmeldungen, beispielsweise durch ID-Tags oder RFID-Etiketten.

### Partner für eine gemeinsame Entwicklung

„Zur Unterstützung unserer Kunden bei solchen Entwicklungen bieten wir vielfältige Dienstleistungen von der Beratung über das Engineering bis zur Herstellung und dem Test von Prototypen an“, sagt Grütter. Oft sind zunächst Machbarkeiten und Eigenschaften zu prüfen, wofür beispielsweise Prototypen mithilfe von 3D-Druckverfahren als Einzelstücke erstellt werden, um zum Beispiel Fragen der Geometrie abzuklären. Nächste Stufe sind dann Prototypformen aus Keramik, mit denen kleinere Serien direkt hergestellt werden können. Bei größeren Serien steht dann die Herstellung metallischer Tiefziehformen mit teils aufwendiger Mechanik an. Letzteres ist beispielsweise erforderlich, wenn Hinterschneidungen für Sicken zur Aussteifung tragender Bereiche erzeugt werden müssen. Bei entsprechenden Anforderungen ist gegebenenfalls die Verwendung zwei- oder gar dreischichtiger Folien beziehungsweise Platten erforderlich, damit unterschiedliche Bereiche der Trays jeweils angepasste Eigenschaften aufweisen. Weitere Fragen betreffen schließlich auch das Recycling der verwendeten Werkstoffe, ein Gesichtspunkt, der angesichts der zunehmenden Vorbe-



**Bild 2** Im Fused Deposition Modeling (FDM)-Verfahren hergestellter Prototyp eines Trays zur Abklärung der Machbarkeit von Handlingoperationen. Bild © Klaus Vollrath

„Es muss sichergestellt werden, dass die transportierten Bauteile bei allen während des Transports typischerweise auftretenden Beanspruchungen geschützt bleiben.“



**Bild 3** „Zum Design moderner Produkte gehört heute auch die Auslegung der entsprechenden Prozessketten und Produktions-Hilfsmittel“, sagt Reto Grütter. Bild © Klaus Vollrath

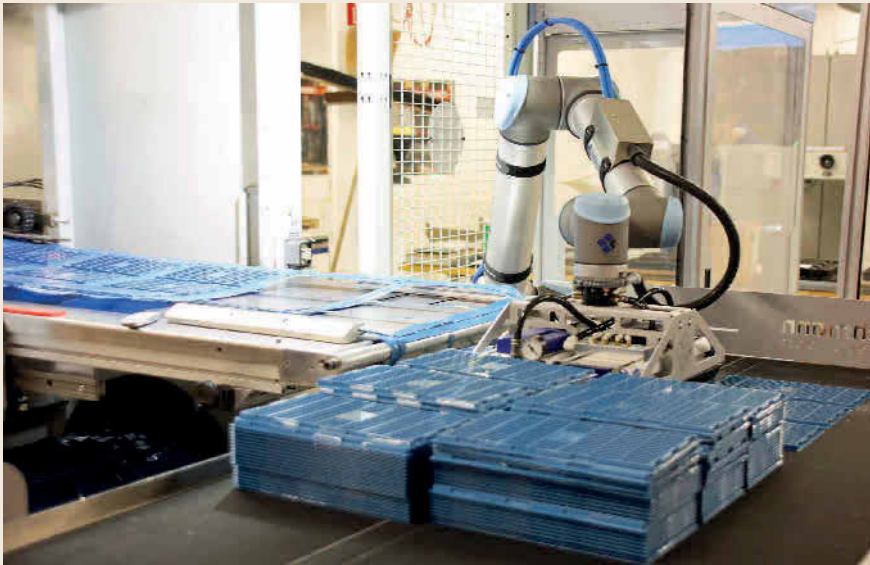


**Bild 4** „Mit der reinen Tiefziehoperation ist es heute immer weniger getan. Die Kunden wollen fertige, direkt bei Lieferung einsetzbare Produkte aus einer Hand“, so Erich Schnyder. Bild © Klaus Vollrath

halte gegenüber Kunststoffen in der Öffentlichkeit stark an Bedeutung gewinnt.

### Ergänzende Leistungen sind zunehmend gefragt

„Mit der reinen Tiefziehoperation ist es heute immer weniger getan. Die Kunden wollen fertige, direkt bei Lieferung einsetzbare Produkte aus einer Hand“, weiß Schnyder. Dazu gehört neben der mechanischen Bearbeitung beispielsweise die Bestückung mit zusätzlichen Komponenten wie Gewindebuchsen, Spreiznieten oder Ankerplatten. Im Falle einer mehrteiligen Verkleidung für die Lenksäule eines Traktors muss das Hauptgehäuse wegen seiner komplexen Geometrie zweiteilig ausgeführt und mit einem ebenfalls thermisch umgeformten Verbindungsteil durch eine Art Laserschweiß-Pressnietverfahren verbunden werden. Die entsprechenden Durchbrüche werden mithilfe einer 5-Achse-Fräse erzeugt. In das separate Gehäuse für das Bedientableau wird eine extern mechanisch bearbeitete Plexiglasscheibe mit Durchbrüchen und Befestigungseinsätzen für eine Elektronikplatine eingesetzt und dicht verklebt. Die Tiefziehkomponenten bestehen aus zwei Schichten, einer genarbtten ABS-Lage für die Außenseite und einer stabilisierenden Innenlage aus Recycling-ABS. Bei anderen Anwendungsfällen sind Oberflächenveredelungen wie beispielsweise Lackierungen – teils sogar aufwendig mehrfarbig – gefordert. ▶



**Bild 5** Vollautomatische Roboterentnahme im Auslauf einer Rollen-Tiefziehanlage *Bild © Klaus Vollrath*



**Bild 6** Traktor-Lenkradabdeckung. Aufwendige, mehrteilige Baugruppe aus vier Tiefziehteilen aus zweischichtigem ABS (außen Frischware, innen Recyclat), gefräst, geschweißt, mit Gewindeeinsätzen und eingeklebter Plexiglas-Frontscheibe versehen.

*Bild © Klaus Vollrath*

## Abklärung des Schutzes beim Transport

„Ein wichtiger Aspekt bei der Auslegung von Transportmitteln ist auch die Absicherung des zu transportierenden Gutes“, erläutert Reto Grütter. So müsse sichergestellt werden, dass die transportierten Bauteile bei allen während des Transports typischerweise auftretenden Beanspruchungen geschützt

bleiben. Das umfasst nicht nur den Schutz vor gegenseitiger Berührung oder gar Kollision, sondern auch den Schutz vor Beschädigung oder Verkratzung, zum Beispiel bei Bauteilen mit polierten Oberflächen. Die Optimierung von Lösungen für solche Aufgabenstellungen kann sehr anspruchsvoll sein. Transportmittel sind letztlich ja auch ein Kostenfaktor, und das betrifft nicht nur den Herstelleraufwand, sondern auch den

Kostenanteil der Verpackung beim Pendeltransport. Bei langen Versandwegen gehen sowohl das Leergewicht als auch der Platzbedarf beim Rücktransport in die Kalkulation ein. Ebenfalls zu berücksichtigen ist zudem, dass die Transportmittel den dabei auftretenden Beanspruchungen über die projektierte Lebensdauer hinweg standhalten müssen. Da es für viele dieser Fragestellungen weder Normen noch Simulationsprogramme gibt, spielen hier die Erfahrung und das Knowhow der Tiefzieh-Fachleute eine wichtige Rolle.

## Vielfältige Lösungsansätze für unterschiedliche Aufgaben

„Da die Aufgabenstellungen sehr vielfältig und oft individuell auf ein bestimmtes Produkt bezogen sind, sind auch die von uns angebotenen Lösungsmöglichkeiten sehr differenziert“, weiß Schnyder. Deshalb wird eine ganze Reihe von Tiefziehwerkstoffen mit unterschiedlichsten Eigenschaften wie HDPE, PS, ABS PU oder TPE in einer Vielzahl von Wanddicken angeboten. Auf Wunsch sind auch kundenspezifisch maßgeschneiderte Mehrschichtfolien oder -platten mit zwei oder gar drei Schichten erhältlich. Dazu kann sich Grütter auf ein weitgespanntes und leistungsfähiges Netzwerk bewährter Lieferanten stützen, so dass auch größere Materialmengen kurzfristig bereitgestellt werden können. Auch werden je nach Anforderung mehrschalige Lösungen erarbeitet, entweder durch die Kombination von Grundkörpern mit Einsätzen und/ oder Zwischenlagen oder durch die Herstellung von Hohlkörpern im sogenannten Twin-Sheet-Verfahren. Abgerundet wird das Leistungsspektrum durch ein leistungsfähiges, nach ISO 9001:2015 zertifiziertes Managementsystem. Zudem können auf Wunsch sämtliche Lieferungen nach den VDA-Richtlinien der Automobilindustrie erfolgen. ■

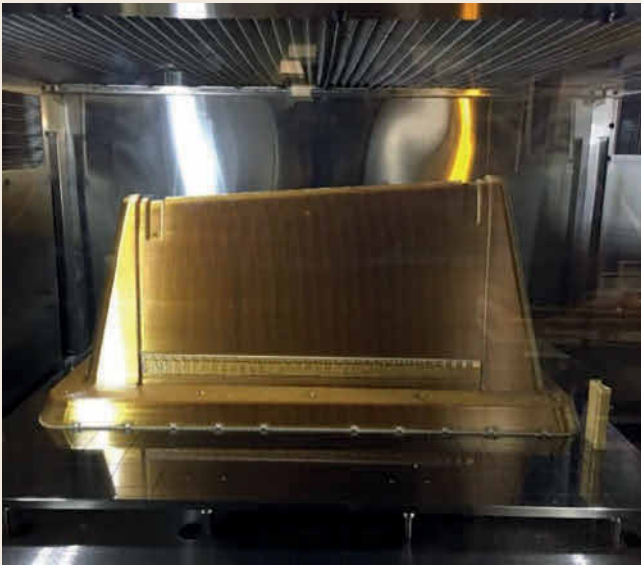
### Klaus Vollrath

Redaktionsbüro  
Klaus Vollrath  
Bünteweg 21  
CH-4912 Aarwangen  
kvollrath@bluewin.ch

### Kontakt

Grütter Kunststoff+Formen AG  
Grossacherstrasse 45  
CH-8634 Hombrechtikon, Schweiz  
Telefon: +41-55-254 1040  
info@gruetterag.ch  
www.gruetterag.ch





**Bild 1** Preform-Werkzeug, hergestellt auf der Stratasys F900 mit Ultem 1010 Resin durch IDEC and Wehl & Partner. Bild © Stratasys

**D**ie Einsatzmöglichkeiten der Technologien reichen von voll funktionsfähigen Prototypen über den Werkzeugbau bis hin zu fertigen Produktionsbauteilen. Bei der maschinellen Bearbeitung von Verbundstoffen überzeugt der 3D-Druck in verschiedenen Geschäftsbereichen im Vergleich zu herkömmlichen Werkzeugbaumethoden. Dank der Entwicklung des Hochtemperaturmaterials von Stratasys sowie des erhöhten Durchsatzes der FDM-3D-Drucker könne die Fertigung von komplexen Schicht- beziehungsweise Zerspanungswerkzeugen innerhalb von Stunden oder Tagen erfolgen und nicht in Wochen oder Monaten, die bisher für die Fertigung und Beschaffung erforderlich waren, so das Unternehmen.

Die im September auf der Composites Europe vorgestellten Kundenbeispiele zeigten, wie robuste und dennoch leichte, 3D-gedruckte Verbundstoffwerkzeuge in verschiedensten Branchen zum Einsatz kommen.

Eines dieser Beispiele ist ein Fahrrad von Santa Cruz mit einer Vielzahl von 3D-gedruckten Werkzeugteilen aus Karbonfasern. Der Hersteller von High-End-Mountainbikes kann mithilfe des FDM-3D-Drucks von Stratasys schnell voll funktionstüchtige Prototypen erstellen und zudem mehrere Ausführungen schneller als bisher ausprobieren. Dadurch kann der Entwicklungsprozess erheblich beschleunigt werden. Außerdem hat das Unternehmen durch die bedarfsgerechte Fertigung 3D-gedruckter Hochleistungswerkzeuge aus Verbundstoffen die Einschränkungen der traditionellen maschinellen Bearbeitung von Verbundstoffproduktionen in geringer Auflage überwunden und so die Fertigungsdauer deutlich verkürzt.

Ein weiterer Kunde ist Idec and Wehl & Partner, führender spanischer Lieferant von Verbundstofflösungen für Luft- und Raumfahrt. Mithilfe der Stratasys F900 und des FDM-Thermoplast Ultem 1010 Resin produzierte das Unternehmen ein Preform-Werkzeug in weniger als sechzig Stunden. Dies entspricht einer Zeitersparnis von 67 Prozent im Vergleich zu traditionellen Methoden.

## Additive Fertigung

# 3D-Druck für die Verbundstofffertigung

Stratasys hat neue 3D-Drucklösungen für Verbundstoffe entwickelt. Eine Vielzahl von Branchen kann durch die Einbindung additiver Fertigung innerhalb ihres Fertigungsbetriebs erhebliche Zeit- und Kosteneinsparungen erreichen.



**Bild 2** Dank karbonfaserverstärktem Nylon 12 bietet die Fortus 380CF das höchste Festigkeits/Gewichtsverhältnis aller FDM- oder FFF-Bauteile. Bild © Stratasys

Für den Einsatz in der Verbundstoffindustrie wurde der 3D-Drucker Fortus 380 Carbon Fiber entwickelt. Er verwendet das thermoplastische Hochleistungsmaterial Nylon 12 Carbon Fiber von Stratasys, welches zu 35 Prozent aus Karbonfaser besteht und so robust ist, dass es laut Unternehmen den Einsatz von Metall überflüssig machen kann. Entwickler können somit praktisch umsetzbare und funktionellere Designs realisieren. Die spezifische Festigkeit von FDM Nylon 12CF erfüllt zudem die Anforderungen von Funktionsprüfungen in Automobil, Luft- und Raumfahrt, Verbrauchsgüter- und Fertigungsindustrie. ■

## Kontakt

Stratasys GmbH  
Airport Boulevard B 120  
77836 Rheinmünster  
[www.stratasys.com](http://www.stratasys.com)



## Thermoplastische Verbundwerkstoffe

# Leichte Rücksitzschale in Composite-Bauweise

Durch den Einsatz endlosfaserverstärkter thermoplastischer Verbundwerkstoffe kann eine Gewichtsersparnis von 45 Prozent gegenüber Stahlblech erreicht werden. Zudem sind wirtschaftliche Bauteillösungen dank Funktionsintegration möglich.

**D**ie endlosfaserverstärkten thermoplastischen Composites der Marke Tepex dynalite des Spezialchemie-Konzerns Lanxess etablieren sich weiter in der Großserienfertigung von verschiedenen Strukturbauteilen für den Leichtbau von Automobilen. Ein aktuelles Beispiel dafür ist der Audi A8. Er wird auch mit zwei elektrisch einstellbaren Einzelrücksitzen angeboten, deren Sitzschalen von Faurecia Automotive Seating entwickelt wurden und im Hybrid Molding-Verfahren gefertigt werden. Zum Einsatz kommt dabei das Polyamid 6-basierte Tepex dynalite 102-RG600(2)/47%. Als Überspritzmaterial dient das kurzglasfaserverstärkte Polyamid 6 Durethan BKV30H2.0.

## Hohe Crash-Stabilität ist sehr wichtig

„Für die Konstruktion mit unserem Verbundwerkstoff sprach, dass sie gegenüber einer vergleichbaren Metallausführung rund 45 Prozent leichter ist und dabei wirtschaftlich gefertigt werden kann, was dem hohen Grad an Funktionsintegration zu verdanken ist. Außerdem erfüllt sie die hohen Anforderungen an die mechanische Belastbarkeit im Crash-Fall“, erklärt Henrik Plaggenborg, Leiter Tepex Automotive im Lanxess-Geschäftsbereich High Performance Materials (HPM). Systemlieferant des komplett montierten Rücksitzsystems ist der



**Bild 1** Für die Konstruktion mit Tepex sprach, dass sie gegenüber einer vergleichbaren Metallausführung rund 45 Prozent leichter ist und dabei wirtschaftlich gefertigt werden kann, was dem hohen Grad an Funktionsintegration zu verdanken ist.

Bild © Lanxess AG

Geschäftsbereich Automotive Seating von Faurecia, Stadthagen.

## Kosteneffizienter One Shot-Prozess

Bisher finden in vergleichbaren Sitzen vor allem Metallschalen Verwendung, die auf eine Unterkonstruktion geschraubt wer-

den. Die Herstellung der Metallschalen ist aufwändig, denn sie bestehen aus zahlreichen Einzelteilen, die in mehreren Schritten etwa durch Schweißen zusammengefügt werden müssen. „Im Hybrid Molding-Verfahren entsteht dagegen in einem Prozessschritt ein montagefertiges Bauteil. Das zugeschnittene und aufgewärmte Verbundhalbzeug wird dazu



**Bild 2** Der Audi A8 wird auch mit zwei elektrisch einstellbaren Einzelsitzen angeboten, deren Sitzschalen von Faurecia Automotive Seating entwickelt wurden und im Hybrid Molding-Verfahren gefertigt werden.

Bild © Audi AG

direkt im Spritzgießwerkzeug umgeformt und per Spritzguss mit zahlreichen Funktionen versehen, was die Folgemontage vereinfacht und erhebliche Einsparungen bei den Fertigungskosten erschließt“, erläutert Tilmann Sontag, Projektmanager in der Tepex Automotive-Gruppe von HPM. So sind in das Bauteil neben Verstärkungsrippen die Kedernut zum Fixieren des Sitzbezuges sowie zahlreiche Aufnahmen und Führungen etwa für die Sitzbelüftung und Kabelhalter integriert.

Auch die Klipse zur Befestigung der Sitzschale sind direkt angespritzt. „Die Schale lässt sich einfach und schnell ohne Schrauben mit den Klipsen montieren und im Servicefall wieder demontieren. Die Verklipsung ist hochstabil und erfüllt alle relevanten Sicherheitsanforderungen“, so Sontag weiter.

### Kundenservice bei der Bauteilentwicklung

Lanxess hat die Projektpartner während der Entwicklung der Sitzschalen und des kompletten Rücksitzsystems im Rahmen des Kundenservices HiAnt umfangreich unterstützt. So ermittelte HPM zum Beispiel Materialdaten des Verbund- und Überspritzwerkstoffs, die Faurecia für Struktursimulationen benötigte, unter an-

derem, um die mechanische Belastbarkeit des Sicherheitsbauteils zu berechnen. Außerdem wurden in einer Drapiersimulation mehrere Strategien für eine präzise und reproduzierbare Umformung des

## „Im Hybrid Molding-Verfahren entsteht in einem Prozessschritt ein montagefertiges Bauteil.“

Verbundhalbzeugs analysiert. Die Ergebnisse flossen in Empfehlungen für die Werkzeug- und Prozessauslegung ein. „Zum Beispiel haben wir den Partnern spezielle Klemmelemente zur Fixierung des plastifizierten Verbundeinlegers im Spritzgießwerkzeug empfohlen“, blickt Sontag zurück.

### Breit gefächertes Einsatzspektrum für den Leichtbau

Tepex wird von der Lanxess-Tochtergesellschaft Bond-Laminates GmbH mit Sitz in Brilon entwickelt und produziert. Tepex dynalite bewährt sich bereits in zahlreichen Großserienanwendungen des

strukturellen Leichtbaus von Automobilen. So werden daraus beispielsweise Frontends, Bremspedale, Komponenten von Unterbodenverkleidungen, verstärkende Struktureinleger für Karosserieanbauteile sowie Träger für Tür- und Elektronikmodule in Großserie gefertigt. Lanxess geht davon aus, dass aus dem Verbundwerkstoff zukünftig auch Rücken- und Armlehnen sowie Sitzschalen für neue, hochkomplexe Sitzkonzepte des autonomen Fahrens hergestellt werden. Plaggenborg: „Wir denken zum Beispiel an frei drehbare, schwenkbare oder entnehmbare Sitze, die nicht nur wenig wiegen, sondern auch alle Crash-Anforderungen erfüllen und mit zahlreichen integrierten Funktionen wie etwa Anschall-, Infotainment- und Komfortsystemen ausgestattet sind.“ Darüber hinaus könnte das Leichtbaumaterial auch in Komfortsitzen für Shuttle-, VIP- und Familienbusse zum Einsatz kommen. ■

### Kontakt

Lanxess AG  
Michael Fahrig  
Corporate Communications  
Kennedyplatz 1  
50569 Köln  
Telefon: +49 221 8885-5041  
michael.fahrig@lanxess.com  
www.lanxess.com



**Innovative Verbundlösungen** reduzieren die Komponentenanzahl, den Bauraum und das Gewicht sowie Wartungs- und Montageaufwand. Bild © Parker Hannifin

## Verbundtechnologie für Dichtelemente

Die Engineered Materials Group von Parker Hannifin bietet Verbundlösungen aus vielfältigen Materialkombinationen. Besonderes Highlight sind dabei laut Unternehmen ökonomisch und ökologisch gleichermaßen vorteilhafte 2K-Gummi-Kunststoff-Direktverbundteile, die ohne Haftsyste-me auskommen und zudem die Substitution von Metall durch Kunststoff ermöglichen. Die von Parker Prädifa angebotenen Verbundlösungen greifen auf eine umfangreiche Palette von Werkstoffen zur Herstellung von Materialkombinationen wie Gummi-Kunststoff, Gummi-Metall oder Kunststoff-Kunststoff zurück. Diese werden zum Beispiel als Gehäusebauteile mit statischer Dichtfunktion oder mit rotierenden Wellen, Funktionselemente für translatorische Bewegungen, Dichtelemente mit Form-/Kraftschluss-Fixierung, formstabile Trägerplatten mit Dichtfunktion und vieles andere mehr umgesetzt. Die Einsatzgebiete erstrecken sich über alle Industriebereiche, von Industrie- und Automobilanwendungen über den Luft- und Raumfahrtsektor bis hin zu Anwendungen in der Öl- und Gasindustrie oder der Medizintechnik. Durch die Kombination der spezifischen Vorteile verschiedener Werkstoffe in einem Bauteil können neue Entwicklungspotenziale realisiert werden. Dank weitgehender Designfreiheit ist zum Beispiel die bauraum- und gewichtssparende Darstellung komplexer Produktgeometrien oder Funktionsanforderungen möglich. Dadurch ergeben sich zum Teil erhebliche Kostenvorteile, zum Beispiel bei der Montage durch Formstabilisierung der Weichkomponente beziehungsweise Dichtgeometrie. Durch die Reduktion der Teilevielfalt mittels Verbundlösungen sinken die Verwaltungs-, Lagerhaltungs- und Logistikkosten, während gleichzeitig dank einer höheren Prozessstabilität die Qualitätskosten geringer ausfallen. Handlingvorteile ergeben sich außerdem durch die Stabilisierung kleiner und filigraner Teile. Auch das Risiko von Montagefehlern ist bei Verbundlösungen geringer, während angebundene Dichtgeometrien zudem das Leckagepotenzial senken. Dank der speziellen Fertigungsverfahren bietet Parker Prädifa besonders langlebige und kostengünstige 2K-Gummi-Kunststoff-Direkt-Verbundlösungen an, die ohne umwelt- und gesundheitsbelastende Haftvermittler und die daraus resultierenden Lösemittelmissionen auskommen, heißt es aus dem Unternehmen.

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

## Neues thermoplastisches Elastomer

Der neu entwickelte Hochleistungskunststoff Vestamid e<sup>2</sup>X von Evonik zeichnet sich laut Unternehmen durch höchste Transparenz, beste Farbstabilität sowie einen bestechenden Glanzeffekt aus. Das breite Spektrum von Eigenschaften wie exzellente Kälteschlagzähigkeit, hohe Elastizität, gutes Rückstellverhalten oder niedrige Dichte mache den Kunststoff zu einem bevorzugten Material für anspruchsvolle Anwendungen im Sport- und Konsumgüterbereich oder auch im Automobilsektor, heißt es. Im Jahr 1979 hat Evonik das thermoplastische Elastomer Polyetherblockamid unter dem Markennamen Vestamid E auf den Markt gebracht. Damals wie heute überzeugte der Hochleistungskunststoff laut Evonik durch ausgezeichnete mechanische und chemische Beständigkeit, einstellbare Härte und Flexibilität sowie gutes Rückstellverhalten. Er lässt sich leicht verarbeiten, einfärben oder überspritzen.

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



**Eine neue Generation** von thermoplastischen Elastomeren bringt Evonik mit Vestamid e<sup>2</sup>X auf den Markt.

Bild © Evonik

## Neue Flüssig- und Festsilikonkautschuke

Der Münchner Chemiekonzern Wacker hat zahlreiche Siliconinnovationen angekündigt. Zu den wichtigsten Produktneuheiten, die das Unternehmen im Oktober auf der 21. Internationalen Messe für Kunststoff und Kautschuk präsentierte, gehörten brandbeständige Siliconelastomere, selbsthaftende Silicone mit extrem reibungsarmen Oberflächen und ultradünne Siliconlamine für elektroaktive Anwendungen.

Vorgestellt wurden auch Flüssigsilikonkautschuke, die wegen ihres niedrigen Gehalts an flüchtigen Bestandteilen nicht mehr thermisch nachbehandelt werden müssen, woraus sich diverse Vorteile ergeben. Neu ist zudem ein neues Siliconadditiv, mit dem Verarbeiter von thermoplastischen Polyurethanen weichere und schmutzabweisendere Kunststoffe herstellen können. Und der neue 3D-Silicondrucker Aceo Imagine, Series K2, setzt laut Wacker mit Mehrmaterialdruck, Auto-Control-Funktion und technischen Verbesserungen in Sachen Designfreiheit und Präzision neue Standards.

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





Die Unterkolben-Kurzhubpresse stellt ihre volle Presskraft von 2.500 Tonnen schon nach 0,14 Sekunden zur Verfügung.

Bild © Schuler

## Produktion

# Unterkolben-Kurzhubpresse überzeugt

Unterbodenverkleidungen, Reserveradmulden oder Batterieträger: Solche und andere Leichtbau-Teile aus faserverstärktem Kunststoff stellt die Asglaform her.

Jetzt ist die Produktion auf einer 2.500 Tonnen starken Unterkolben-Kurzhubpresse von Schuler angelaufen.

Für die Fertigung von Composite-Teilen ist passgenaue Technik erforderlich. Deshalb investierte die Asglaform Composites GmbH aus dem sächsischen Hilbersdorf jetzt in eine neue Unterkolben-Kurzhubpresse. „Mit der neuen Anlage werden wir nicht nur Prototypen für Zulieferer und Entwicklungsdienstleister der Automobilbranche produzieren, sondern faserverstärkte Kunststoffe wie SMC, GMT und LWRT auch in Kleinserie fertigen können“, sagt Projektleiter Thomas Weidhaas. Sei es, um unbequeme Fertigungslosgrößen von Nischenprodukten im Unterauftrag für Serienlieferanten abzudecken, oder um zeitweilig Unterkapazitäten bereits am Markt etablierter Pressformer auszugleichen.

**„Bei der Produktion von Composite-Teilen kommt es neben einer hohen Presskraft vor allem auf kurze Druckaufbauzeiten an.“**

„Wir werden unsere Presse zukünftig für Werkzeug- und Fertigungsversuche zur Verfügung stellen“, so Weidhaas. Asglaform ist eine Tochter der Asglawo technofibre GmbH, einem international tätigen Produzenten und Dienstleister auf dem Gebiet innovativer Isolations- und Verstärkungsstoffe mit über 70 Jahren Erfahrung und rund 90 Beschäftigten.

Für Schuler sprachen neben der räumlichen Nähe zum Unternehmensstandort in Erfurt eine ganze Reihe technischer Vorteile. „Bei der Produktion von Composite-Teilen kommt es neben einer hohen Presskraft vor allem auf kurze Druckaufbauzeiten an“, erklärt Weidhaas. „Die Schuler-Maschine stellt ihre volle Press-

kraft von 2.500 Tonnen schon nach 0,14 Sekunden zur Verfügung. Das ist ein sehr guter Wert.“

Ein Werkzeuginnendruck von 250 bis 300 bar sorgt dafür, dass sich der Kunststoff in der gesamten Form optimal verteilt. So wird etwa ein fünf Millimeter starkes Halbzeug für eine Unterbodenverkleidung im finalen Pressteil auf zwei Millimeter zusammengepresst. Da die Anlage den Druck schnell genug aufbauen kann, besteht keine Gefahr, dass das Halbzeug im Werkzeug schon nicht mehr fließt, bevor es seine endgültige Form angenommen hat.

„Die Parallelhalteregelung benötigen wir, um das Werkzeug gezielt schrägzustellen“, fährt Weidhaas fort. Schon eine Kippung von nur einem halben Millimeter pro Meter sorgt dafür, dass ein gezieltes Fließen des Kunststoffes im Werkzeug erzeugt wird und entsprechend bessere Bauteiloberflächen erzielt werden können. Auch die bauartbedingt geringe Höhe von 4,80 Meter über Flur war dem Diplom-Ingenieur zufolge ein wichtiges Argument für die Unterkolben-Kurzhubpresse: „Dadurch konnten wir die Produktionshalle niedriger bauen.“ Positiver Nebeneffekt: Weil sich die Aggregate im Keller befinden, reduziert sich die Geräuschkentwicklung. Lobende Worte findet Weidhaas darüber hinaus für die Zusammenarbeit mit Schuler, die von einem partnerschaftlichen Miteinander geprägt gewesen sei. Der Auftrag über die Presse war Anfang 2018 eingegangen, die Endabnahme erfolgte im August dieses Jahres. ■

## Kontakt

Schuler AG  
Simon Scherrenbacher  
Integrated Communications  
Schuler-Platz 1  
73033 Göppingen  
Simon.Scherrenbacher@schulergroup.com  
www.schulergroup.com

Euroguss

# Treffpunkt für die Druckgussbranche

Die Vorbereitung zur Euroguss 2020, die vom 14. bis 16. Januar 2020 im Messezentrum Nürnberg stattfindet, laufen auf Hochtouren. Wir haben mit Christopher Boss, Leiter und internationaler Produktmanager der Euroguss, über den aktuellen Stand der Planung, die Highlights und die Entwicklung der Messe gesprochen.

Herr Boss, das vergangene Jahr 2018 kann man ja fast schon als internationales Druckgussjahr für die Euroguss und die gesamte Produktfamilie bezeichnen. Sind Sie zufrieden mit der Entwicklung der Messen?

**Christopher Boss:** „Ich bin sehr zufrieden, denn wir können auf ein äußerst erfolgreiches Jahr für die internationale Druckgussbranche zurückblicken. Der globale Markt ist derzeit ziemlich stabil und entwickelt sich, trotz leichter Unsicherheit in der Branche, positiv. Es gibt eine starke Nachfrage nach Druckguss und Unternehmen produzieren teilweise an der Kapazitätsgrenze und expandieren in Wachstumsmärkte. Aber auch für die Euroguss sowie die internationalen Ableger war es zurückblickend ein sehr gutes Jahr. Eingeleitet wurde es durch die Euroguss in Nürnberg, gefolgt von der China Diecasting in Shanghai. Auf Wunsch der Branche haben wir 2018 erstmals die Euroguss Mexico sowie Euroguss Asia Pacific in Thailand durchgeführt und konnten die Euroguss Familie um strategisch wichtige Märkte erweitern. Abgeschlossen wurde das Jahr dann durch die Alucast in Indien. Wir sind äußerst zufrieden mit der Entwick-



Bild Christopher Boss, Leiter und internationaler Produktmanager der Euroguss Messe

Bild © Nürnberg

lung der Messen und blicken mit Stolz auf das stetige Wachstum unserer Euroguss Family.“

**Die vergangene Euroguss erzielte mit 641 Ausstellern, 18.758 m<sup>2</sup> Ausstellungsfläche und 15.354 Besuchern Bestmarken. Wie läuft es für 2020?**

**Christopher Boss:** „Die Euroguss 2018 hat unsere Erwartungen bei weitem

übertroffen. Es war die bisher größte und erfolgreichste Euroguss. Wir hatten mehr Aussteller, mehr Fläche und fast 30 Prozent mehr Besucher, was fantastisch und sicherlich nicht alltäglich ist. Entscheidend und aus meiner Sicht fast noch wichtiger ist aber auch, dass die Qualität der Fachbesucher stimmt. Eine Umfrage ergab, dass 97 Prozent der Aussteller mit Besucherqualität zufrieden waren und ihre Zielgruppe erreichen konnten. Weit

über die Hälfte der Besucher befinden sich in leitenden Positionen mit Entscheidungsbefugnis. Auch die Besucher waren mit dem Messeangebot äußerst zufrieden und konnten ihre Ziele erfolgreich umsetzen. So können wir bei der Euroguss eine hohe Gesamtzufriedenheit vorweisen. Das freut mich und bestärkt uns, dass wir mit unserem Konzept richtig liegen. Das merken wir auch bei den Vorbereitungen.

Trotz einer teilweise vorhandenen Unsicherheit im Markt, spüren wir das bei der Euroguss überhaupt nicht. Im Gegenteil, es läuft richtig gut. Mehr als 80 Prozent der Standfläche ist bereits seit einiger Zeit gebucht. Aussteller, die noch dabei sein wollen, sollten sich also beeilen. Das zeigt uns, dass sich die Euroguss als internationaler Treffpunkt der Druckgussbranche bewährt hat.“

#### **Aus welchen Bereichen und Ländern kommen die Aussteller?**

**Christopher Boss:** „Der größte Anteil der Aussteller kommt weiterhin aus Europa, die meisten davon aus Deutschland und Italien. Der Anteil internationaler Aussteller liegt bei über 50 Prozent, mit steigender Tendenz, aber weiterhin mit einem starken Fokus auf Europa.“

Die Euroguss ist die einzige Veranstaltung, die die gesamte Druckguss-Prozesskette abbildet. Daher haben wir natürlich ein breites Themenspektrum auf der Messe. Die meisten Aussteller sind Druckgießereien. Aber auch Aussteller aus den Angebotsgruppen Formen und Zubehör, Gussnachbearbeitung, Druckgussmaschinen, Oberflächentechnik sowie Forschung und Entwicklung sind zahlreich auf der Messe vertreten. Zu den beiden letzteren gibt es ja auch Sonderflächen.

Den Pavillon Oberflächentechnik führen wir 2020 in Kooperation mit unserem Partner fairXperts durch. Diese haben ein sehr gutes Branchennetzwerk, vor allem für den Bereich Entgrattechnologie.

Die Sonderschau „Forschung die Wissen schaf(f)t“ richtet sich an Universitäten, Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Forschung nimmt einen wichtigen Teil bei der Euroguss ein, da sie die Zukunft der Branche vorgibt. Ein Ziel ist auch die internationale Vernetzung der Forschungseinrichtungen, aber auch das Thema Recruiting. Für Unternehmen

wird es immer schwieriger, geeignete Fachkräfte zu finden. Wir wollen die Unternehmen unterstützen, auf sich aufmerksam zu machen und geeignete Kandidaten zu finden.“

#### **Was gibt es Neues bei der kommenden Euroguss und gibt es besondere Highlights und Schwerpunktthemen?**

**Christopher Boss:** „Neben den eben schon erwähnten Sonderflächen, wird es bei der Euroguss 2020 erstmals die Sonderschau „Additive Fertigung“ geben, denn 3D-Druck wird auch im Bereich Druckguss immer wichtiger. Große Gießereien nutzen dieses Fertigungsverfahren beispielsweise bereits bei der Produktion von Prototypen. Zudem bietet das Verfahren für den Bereich Werkzeug- und Formenbau interessante Lösungen. Das Ziel ist, die gesamte Wertschöpfungskette darzustellen, so dass Interessierte einen guten Einblick über die Möglichkeiten von additiver Fertigung erhalten.“

Eine weitere Neuheit ist der Gemeinschaftsstand „Innovation made in Germany“. Das ist eine vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderte Messeteilnahme für junge innovative Unternehmen. Wir erhoffen uns dabei vor allem auch Firmen anzusprechen, die nicht ausschließlich im Druckguss unterwegs sind, für die diese Branche aber spannend ist. Die Standkosten können dabei bis zu 60 Prozent erstattet werden. Für die Euroguss 2020 haben wir zudem etwas an der Hallenaufteilung gearbeitet, was uns wiederum mehr Flexibilität bietet. Zum einen ist Platz für weitere Aussteller, zum anderen können wir aber auch Vergrößerungswünschen nachkommen. Teilweise haben Aussteller ihre Fläche sogar verdoppelt. Durch die neue Halleneinteilung ergibt sich aber noch ein weiterer Vorteil: Wir können einen zweiten Eingang nutzen mit direktem Zugang zur U-Bahn. Das ist gut, denn mittlerweile reisen immer mehr Besucher mit öffentlichen Verkehrsmitteln an.

Was ich noch erwähnen möchte, ist der Druckgusstag. Der ist zwar nicht neu, hat sich aber bewährt und wird in der Branche als Wissensplattform sehr geschätzt. Darüber hinaus planen wir weitere Vortrags-Sessions zu den Sonderthemen Oberflächenbearbeitung und Entgratung oder Additive Fertigung. Traditionell findet ebenfalls wieder die Auszeichnung der Druckguss-Wettbewerbe statt.“

#### **Was sind das für Wettbewerbe und wer wird ausgezeichnet?**

**Christopher Boss:** „Die Wettbewerbe finden für die wichtigsten Druckgusswerkstoffe Aluminium, Zink und Magnesium statt und werden von den jeweiligen Fachverbänden durchgeführt. Sie sollen die hohe Qualität, die vielseitigen Anwendungsbereiche und die Potenziale von Druckguss aufzeigen. Ziel ist es, das Interesse an den Leichtmetallen zu verstärken und die Leistungsfähigkeit der teilnehmenden Gießereien zu demonstrieren.“

#### **Warum sollten Unternehmen die Euroguss 2020 besuchen?**

**Christopher Boss:** „Die Euroguss ist der Branchentreffpunkt für die Druckgussindustrie – eine Industrie, die sonst oftmals nicht im Mittelpunkt der öffentlichen Wahrnehmung steht, obwohl ich mir sicher bin, dass jeder die Produkte in der täglichen Verwendung hat. Die Werkstoffe Aluminium, Magnesium und Zink sind flexibel für verschiedenste Anwendungsbereiche nutzbar. Wir wollen daher auch Besucher aus Unternehmen, die bisher noch keinen Druckguss verwenden, gewinnen und sie von den Vorteilen dieses Fertigungsverfahrens überzeugen. Wir bieten den Unternehmen die richtige Plattform, in Europa, aber mit unserer Euroguss Family auch in anderen Teilen der Welt und das Portfolio wächst stetig weiter. Die Euroguss ist mehr als nur eine Fachmesse, sie ist die Messe für Druckguss und die gesamte Wertschöpfungskette. Sie zeigt aktuelle Trends, Entwicklungen, neue Wege sowie innovative Produkte und Lösungen. Sie ist die Anlaufstelle, wenn es um Druckguss geht. Hier treffen und vernetzen sich Experten und das soll auch so bleiben. Deswegen arbeiten wir stetig daran, das Konzept zu verfeinern und auf die Bedürfnisse der Branche zu reagieren.“ ■

---

#### **Kontakt**

Nürnberg Messe GmbH  
Messezentrum  
Katja Spangler,  
Simon Kögel  
90471 Nürnberg  
simon.koegel@nuernbergmesse.de  
www.euroguss.de



# 3D-Druck mit keramischen Materialien industrialisieren

Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) unterstützt das Gründungsvorhaben Ceraming dabei, einen 3D-Drucker für die industrielle Produktion von Keramik zu entwickeln. Dabei verwenden das Gründerteam eine an der BAM erforschte und patentierte neue Technologie der additiven Fertigung, die es ermöglicht, auch die Klasse der keramischen Materialien im 3D-Druck zu produzieren. Dies macht die Herstellung komplexer Geometrien zur Leistungssteigerung keramischer Komponenten möglich, die für die Industrie attraktiv sind. Der 3D-Druck von Kunststoffen und Metallen ist heute ein stark wachsender Markt. Keramische Materialien besitzen wegen ihrer überlegenen physio-chemischen Eigenschaften in hoch beanspruchten Anwendungen Vorteile gegenüber Kunststoffen und Metallen. Auch die Designfreiheit keramischer Komponenten kann durch den Einsatz von additiven Fertigungsverfahren im Vergleich zu herkömmlichen Produktionsverfahren deutlich vergrößert werden. Im Gegensatz zu Polymeren und Metallen befindet sich der 3D-Druck von keramischen Komponenten jedoch noch in den Anfängen. Hier setzt das durch den Exist-Forschungstransfer geförderte Projekt Ceraming an. Jörg Luchtenborg, Boris Agea-Blanco und Jinchun Chi, BAM-Mitarbeiter im Bereich der additiven Fertigung und Sebastian Walzel vom Lehrstuhl für Bank- und Finanzwirtschaft der Freien Universität (FU) Berlin, wollen einen industriellen 3D-Drucker für keramische Materialien entwickeln. Im April 2019 hat das Team dafür eine Förderung vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des Exist-Forschungstransfers erhalten. BAM-Präsident Prof. Ulrich Panne unterstreicht das Engagement der BAM im Bereich Ausgründungen: „Spin-offs sind ein wichtiger Aspekt des Technologietransfers. An der BAM gibt es viele junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit innovativen Ideen. Unsere Initiative BAM Startup Slingshot unterstützt sie mit wissenschaftlichem Know-how und der Laborausstattung auf dem Weg in die Selbstständigkeit.“ Darüber freut sich auch Jörg Luchtenborg: „Dank der Rückendeckung durch die BAM und durch die Exist-Gründungsförderung können wir



Gründerteam von Ceraming.

Bild © BAM

uns ganz darauf konzentrieren, unsere Vision für die Industrialisierung des 3D-Drucks zu verwirklichen.“ Ceraming wird unterstützt durch die BAM-Gründungsinitiative, BAM Startup Slingshot. Sie hilft Gründerteams der BAM bei der Verwirklichung ihrer Geschäftsideen. Ein Schwerpunkt liegt auf Ausgründungen im Bereich Chemie und der Materialwissenschaften. Die BAM verfügt in diesen Bereichen über besondere Expertise zu den Themen Qualitätsmanagement, Arbeitsschutz und Gefährdungsbeurteilungen und Umgang mit gefährlichen Stoffen. Zudem erhalten Start-ups Zugang zur umfangreichen Labor- und Geräteausstattung der BAM. Die Spin-offs werden außerdem durch das Gründungsnetzwerk Profund Innovation der FU Berlin betreut. Die Profund Innovation und die BAM arbeiten auf Grundlage eines Kooperationsvertrages im Bereich der Gründungsunterstützung zusammen. Hierdurch ist es BAM-Gründerteams möglich am Gründungsnetzwerk zu partizipieren.

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

## Wärmeleitfähige Kunststoffe effektiv nutzen

Wärmeleitfähige Kunststoffe rücken innerhalb innovativer Entwicklungsprozesse vermehrt in den Fokus. Für den Einsatz wärmeleitfähiger Kunststoffe sprechen vielfältige Gründe: wirtschaftliche Fertigung, Leichtbau, neue Baugruppenkonzepte, hohe Gestaltungsfreiheit, Funktionsintegration sowie die Möglichkeit der gezielten Kunststoffadditivierung. Eine 1:1 Substitution von bestehenden Materialien innerhalb einer Baugruppe ist jedoch nicht immer zielführend. Das Kunststoff-Institut Lüdenschied bietet zum dritten Mal in Folge ein Verbundprojekt zum Thema „Wärmeleitfähige Kunststoffe“ an. Die Entwicklungspotenziale sind vielfältig und somit müssen für die Erweiterung der Anwendungsgebiete weitere Eigenschaftsoptimierung durchgeführt werden. Das neue Projektvorhaben „Wärmeleitfähige Kunststoffe 3“ betrachtet unter anderem das Thema Flammenschutz von wärmeleitfähigen Polyamiden. Im Zuge der aktuellen Entwicklungen im Bereich der Elektromobilität wird die Frage nach flammgeschützten Materialien immer dringlicher. Flammgeschützte Materialien müssen halogenfrei sein und V-0 Klassifizierungen bestehen. Dieser und anderen Herausforderungen stellt sich das Verbundprojekt am Kunststoff-Institut Lüdenschied. Anhand praktischer Versuchsstudien werden Materialien hergestellt und hinsichtlich deren Eigenschaften untersucht. Darüber hinaus erhalten die Teilnehmer umfangreiches Wissen für den Umgang mit Wärmeleitfähigen Kunststoffen. Der Projektteilnehmer profitiert von dem in 5 Jahren Entwicklungstätigkeiten aufgebautem Know-how. Ziel ist es, für die Teilnehmer das erworbene Wissen in eigene Entwicklungsprozesse einzubringen. Darüber hinaus dient das Projekt als interaktive Plattform, indem Unternehmen der gesamten Wertschöpfungskette mit einander interagieren. Das Projekt startete im Juli 2019.

[www.kunststoff-institut.de](http://www.kunststoff-institut.de)

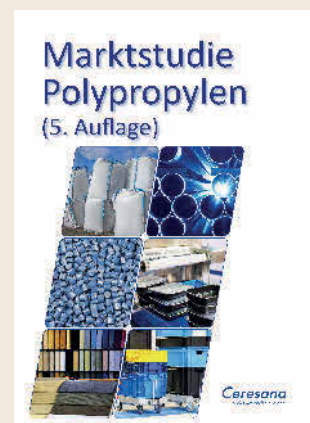
## Entwicklung innovativer Polymerlösungen

Sibur und BASF entwickeln gemeinsam innovative Polymerlösungen im PolyLab Forschungs- und Entwicklungszentrum von Sibur in Moskau, Russland. Eine feierliche Unterzeichnung des Kooperationsvertrags fand Ende Mai im neu eingeweihten, hochmodernen PolyLab im Skolkovo Innovation Center statt. Beide Unternehmen werden zusammenarbeiten, um digitale Technologien in Produktion und Forschung zu erschließen und um eine innovative Produktpalette von Polymeren unter Verwendung der von BASF angebotenen Kunststoffadditive zu entwickeln. Darüber hinaus wird die BASF mit ihrem technischen Know-how die Entwicklung neuer Technologietests im PolyLab, dem Hauptforschungszentrum der Sibur Nios, und den Produktionsstätten von Sibur unterstützen. Die Unternehmen planen außerdem, gemeinsam neue hochwirksame Additivlösungen für sehr anspruchsvolle Verarbeitungsbedingungen für Polymere, insbesondere für langlebige Gebrauchsgüter, zu entwickeln. Diese neuen Lösungen werden auf gemeinsamen technischen Veranstaltungen vorgestellt, um die Kunden von Sibur und Industriepartner zu schulen. „Diese neue Vereinbarung erweitert unsere strategische Partnerschaft mit einem der weltweit größten Chemiekonzerne und eröffnet neue Möglichkeiten für alle Verbraucher von Polymerprodukten. Durch die Bündelung des umfangreichen Know-hows beider Unternehmen werden wir moderne synthetische Materialien entwickeln, die fortschrittlich und nachhaltig sind“, sagte Pavel Lyakhovich, Mitglied des Vorstands und Geschäftsführer von OOO Sibur. „Sibur konzentriert sich sehr stark auf die Entwicklung innovativer Lösungen zur Förderung des technologischen Fortschritts in den Branchen, in denen sie tätig sind, und unterstützt die Kreislaufwirtschaft. Sie sind auch ein langjähriger Geschäftspartner“, sagte Achim Sties, Senior Vice President, Performance Chemicals Europe, BASF SE. „Wir bei BASF sind bestrebt, Additivlösungen zu entwickeln, die wirtschaftlich sind und eine längere Lebensdauer haben. Ich bin davon überzeugt, dass diese erweiterte Partnerschaft mit Sibur das Erreichen der Ziele beider Unternehmen beschleunigen wird, durch innovative Lösungen langfristigen Erfolg zu erzielen, indem das starke Additiv-Know-how der BASF und die umfangreiche Erfahrung von Sibur mit synthetischen Polymeren genutzt werden.“ Polymere sind bekannte synthetische Materialien, die langlebig, stark und umweltfreundlich sind und in den Bereichen Bauwesen, Versorgung, Automobil, Gesundheitswesen, Nahrungsmittel und anderen Industrien weit verbreitet sind. Die Hauptaufgabe des PolyLab von Sibur ist es, die Verwendung von Polymeren sowohl bei der Herstellung bestehender Produkte als auch bei der Entwicklung neuer Lösungen zu fördern, um den technologischen Fortschritt für die relevanten Industrien voranzutreiben. PolyLab wird die Verwendung von recycelten Materialien und die Anwendung von Polymeren in der Kreislaufwirtschaft fördern. Zu diesem Zweck werden in den Pilotfertigungslinien des Zentrums Muster neuer PE-(Polyethylen) und PP-(Polypropylen) Typen zu Rohren, medizinische Artikeln, Folien, Lebensmittelverpackungen, Kanistern und anderen Produkten verarbeitet. Dies gibt einen tieferen Einblick in die Eigenschaften der Polymere und deren Einfluss auf die Qualität des Endprodukts. So können die Materialien weiter verbessert und die Produktionseffizienz gesteigert werden. [www.basf.com](http://www.basf.com)

## Report zum Weltmarkt für Polypropylen

Polypropylen ist nach Polyethylen der weltweit meistproduzierte Standard-Kunststoff. „PP kann mit vielen Techniken verarbeitet werden und wird gebraucht für unterschiedlichste Anwendungen von Verpackungen bis zu Haushaltsgeräten, Kleidung und Fahrzeugen“, erläutert Oliver Kutsch, der Geschäftsführer von Ceresana. Das Marktforschungsunternehmen hat bereits zum fünften Mal den Weltmarkt für Polypropylen untersucht: Der neueste Report erwartet, dass der Umsatz für diese Kunststoff-Sorte bis 2026 um durchschnittlich 4,9 % pro Jahr wachsen wird. Der bedeutendste Absatzmarkt für Polypropylen im Jahr 2018 waren flexible Verpackungen: Insgesamt 16,4 Millionen Tonnen wurden zu Folien, Beuteln, Säcken und Tüten verarbeitet. Weitere 15,5 Millionen Tonnen Polypropylen wurden für die Herstellung von starren Verpackungen verbraucht, beispielsweise für Behälter und Deckel für Nahrungsmittel und Getränke, Chemikalien, Industrie- und Haushaltsprodukte. Dahinter folgte die Nachfrage für die Anwendungsgebiete Konsumprodukte und Fasern. Spritzguss ist ein wichtiges Verfahren der Kunststoffindustrie und besonders für Polypropylen von großer Bedeutung.

Der vergleichsweise schnelle Prozess wird zur Herstellung von großen Zahlen identischer Artikel eingesetzt: von Einweg- und Wegwerf-Produkten bis zu hochkomplexen Präzisionskomponenten. Die Arten der produzierten Formteile sind beinahe unbegrenzt. Im Jahr 2018 wurden fast 23,6 Millionen Tonnen Polypropylen mittels Spritzguss verarbeitet. Polypropylen ist ein teilkristallines thermoplastisches Polymer. Neben einheitlichen Homopolymeren gibt es dabei verschiedene Copolymere, etwa Random- und Block-Copolymere. Diese Kunststoff-Sorten haben überwiegend ähnliche Eigenschaften, verschiedene Eigenheiten helfen aber jeweils, für bestimmte Anwendungen und im gewünschten Kostenrahmen das optimale Material zu wählen. Polypropylen-Copolymere werden bis 2026 mit 3,6% pro Jahr voraussichtlich deutlich höhere Wachstumsraten verzeichnen als Homopolymere. Kapitel 1 der Studie bietet eine umfassende Darstellung und Analyse des globalen Marktes für Polypropylen – einschließlich Prognosen bis 2026: Für jede Region wird die Entwicklung von Verbrauch, Umsatz sowie Produktion dargestellt. Zudem werden die einzelnen Anwen-



dungsgebiete von Polypropylen untersucht. In Kapitel 2 werden die wichtigsten 27 Länder einzeln betrachtet. Dargestellt werden dabei jeweils Verbrauch, Umsatz, Handel, Produktion und Kapazitäten, Verbrauch und Umsatz für die einzelnen Anwendungsgebiete, Verbrauch je Produkttyp und je Technologie. Kapitel 3 bietet nützliche Unternehmensprofile der bedeutendsten Hersteller von Polypropylen, übersichtlich gegliedert nach Kontaktdaten, Umsatz, Gewinn, Produktpalette, Produktionsstätten, Kapazitäten und Kurzprofil. [www.ceresana.com](http://www.ceresana.com)

## Prüfung von Crashstrukturen

Besonders für Anwendungen in der Automobilindustrie ist das Werkstoffverhalten bei hohen Dehnraten wichtig. Bei Unfällen nimmt das Material in der sogenannten Knautschzone einen großen Teil der Bewegungsenergie auf. Dabei wird es in Sekundenbruchteilen massiv verformt. Für die Fahrzeugauslegung und die Berechnung der Crashesicherheit werden umfassende Daten über das Verhalten der unterschiedlichen Werkstoffe unter diesen Bedingungen benötigt. Für die Ermittlung von Werkstoffkennwerten in Abhängigkeit von der Belastungsgeschwindigkeit werden heute überwiegend Prüfmaschinen wie die HTM 16020 von Zwick Roell mit servo-hydraulischem Antrieb eingesetzt. Sie ist in der Lage unterschiedliche Prüfungen auszuführen und ermöglicht Versuche im Geschwindigkeitsbereich von quasistatisch bis über 20 m/s bei Kräften von bis zu 160 kN. Im Schnellerreißversuch wird die Probe schlagartig belastet. Damit dabei die Geschwindigkeit nicht einbricht, sondern über die Versuchsdauer konstant bleibt, regelt die Elektronik das Steuersignal für die Maschine nach. Versuche, die nur wenige Millisekunden dauern, stellen hohe Ansprüche an die verwendete Messtechnik: Messwerte müssen mit hoher Frequenz erfasst werden, um ein relevantes Ergebnis zu erhalten. Häufig kommen berührungslose optische Messsysteme mit hoher zeitlicher Auflösung zum Einsatz. Sie nehmen auch bei plötzlichem Versagen der Probe keinen Schaden. Das Verständnis der Verformbarkeit von Karosserieteilen unter Krafteinwirkung ist so essenziell für die Auslegung von Sicherheitsstrukturen, dass neben den Hochgeschwindigkeitstest auch so genannte „low speed crashtests“ durchgeführt werden. Denn auch bei Belastungen mit geringen Verformungsgeschwindigkeiten lassen sich wichtige Informationen über das Verhalten von Fahrzeugstrukturen gewinnen. Für die effiziente Validierung von Simulationsergebnissen bietet Zwick Roell eine flexible Prüfanlage mit einer Maximalkraft von 1200 kN. Sie ermöglicht es, die Schadenseinleitung und -fortpflanzung zu untersuchen.

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



Hochgeschwindigkeits-Prüfmaschine HTM 16020 Bild © Zwick Roell



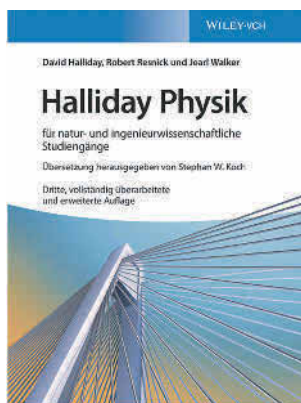
**Elastollan überzeugt** nicht nur im Bereich atmungsaktiver und wasserdampfdurchlässiger Membranen, sondern auch bei besonders reißfesten Geweben. Bild © BASF

## Flexibler Spezialkunststoff Elastollan

BASF entwickelte neue Gewebe, Folien, Vliese und Garne sowie Schmelzklebstoffe – alle basierend auf Elastollan, dem thermoplastischen Polyurethan des Unternehmens. Aufgrund seiner hohen Elastizität und hervorragenden mechanischen Belastbarkeit eignet sich der Kunststoff zur Herstellung einer großen Bandbreite an Materialien für die Textilindustrie. Elastollan überzeugt laut Unternehmen nicht nur im Bereich atmungsaktiver und wasserdampfdurchlässiger Membranen, sondern auch bei besonders reißfesten Geweben, wie sie in der Bauindustrie benötigt werden: So zeigen aus Elastollan gefertigte Dachunterspannbahnen neben einer langen Lebensdauer eine besonders hohe Weiterreißfestigkeit. Zudem zeichnen sie sich dadurch aus, dass sie sich hervorragend verkleben und verschweißen lassen. Ähnliche Eigenschaften spielen auch bei der Verwendung von Elastollan in Medizinfolien eine wichtige Rolle. So bietet die neue opake Folientype Elastollan SP 818 eine sehr hohe Wasserdampfdurchlässigkeit, verbunden mit guten Haftungs- und Verarbeitungseigenschaften speziell in der Blasfolienextrusion. Entwickelt wurden auch mit Elastollan ummantelte Polyester- und Polyetherfasern, die unter anderem zu UV-beständigen und hochflexiblen Geweben für Beschattungssysteme oder auch Freizeitmöbel weiterverarbeitet werden können. Sie zeichnen sich durch Flexibilität sowie eine hohe mechanische Belastbarkeit und Reißfestigkeit aus. Mit zwei weiteren Produkten zeigt BASF seine Kompetenz als Anbieter von integrierten Lösungen für TPU und TPU-basierte Klebstoffe. Elastollan Bondura ist ein TPU für Lösungsmittelhaltige Klebstoffe und Extrusionsbeschichtungen. Es kann als Basispolymer für Einkomponentenklebstoffe oder in Kombination mit Vernetzungsmitteln verwendet werden. Elastollan Hotbond ist ein TPU für Schmelzklebstoffe. Der Schmelzflussindex kann abhängig vom jeweiligen Typ angepasst werden. Zum Portfolio gehört auch die gesamte Produktpalette der aus TPU Elastollan gesponnenen Freeflex-Fasern. Jede Faser erfüllt verschiedene Anforderungen, beispielsweise als Schuhobermaterial, Kleidung oder Anti-Laufmaschen Strumpfhosen. Dank der Elastizität sorgt sie für eine ideale Passform. Die Fasern sind außerdem in Farbe und Beschaffenheit variabel, pflegeleicht und nachhaltig.

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



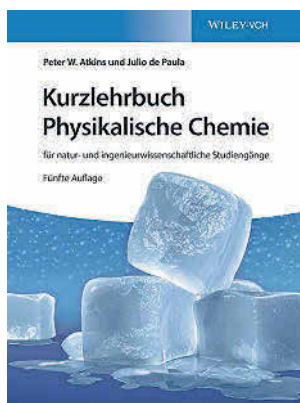


### Halliday Physik für natur- und ingenieurwissen- schaftliche Studiengänge – Lehrbuch und Übungsbuch

In der Physik kommt keiner am Lehrbuchklassiker von David Halliday, Robert Resnick und Jearl Walker vorbei. Nun hat sich Herausgeber Stephan W. Koch, Physiker mit zahlreichen Auszeichnungen, der Überarbeitung von „Halliday Physik für natur- und ingenieurwissenschaftliche Studiengänge“ (vormals Halliday Bachelor-Edition) gewidmet. Zum überarbeiteten Lehrbuch, das in 3. Auflage erscheint, bringt Wiley-VCH auch das passgenaue Übungsbuch auf den Markt – die Deluxe-Kombi für (Bachelor-)Studierende in den Bereichen Chemie, Pharmazie, Biologie, Medizin, den Ingenieurs-, Lebens- und Materialwissenschaften.

Das Deluxe-Set aus dem Halliday-Lehrbuch und passendem Übungsbuch für natur- und ingenieurwissenschaftliche Studiengänge ist der richtige Begleiter für alle, die im Studium Physik lernen.

**Lehrbuch:** 3. Auflage, Oktober 2019, 992 S., Hardcover, ca. 1000 farb. Abb., EURO 59,90, Wiley-VCH, ISBN: 978-3-527-41368-3  
**Übungsbuch:** 1. Auflage, 2019, 722 S., Softcover, ca. 400 farb. Abb. EURO 39,90, Wiley-VCH  
 ISBN: 978-3-527-41369-0  
**Lehrbuch und Übungsbuch**  
 EURO: 89,90, Wiley-VCH  
 ISBN: 978-3-527-41370-6



### Kurzlehrbuch Physika- lische Chemie für natur- und ingenieurwissen- schaftliche Studiengänge

Mit seinem lebendigen und anschaulichen Stil sowie einer immer weiter verfeinerten Didaktik hat Peter Atkins das Lernen und Lehren in der Physikalischen Chemie revolutioniert. Sein Stil ist unverwechselbar – und unerreichbar. Die vollständige überarbeitete Neuauflage umfasst die kompletten Grundlagen des Fachs für Bachelor-Studenten und Nebenfächler und zeigt spannende Verbindungen zu anderen Gebieten der Chemie sowie zur Physik und Biologie auf. Kurz und gut: Der „kleine“ Atkins ist und bleibt ein Muss für jeden Einsteiger in die Physikalische Chemie.

Peter Atkins ist emeritierter Professor für Chemie am Lincoln College der University of Oxford und Autor international bekannter Chemie-Lehrbücher. Er ist einer der erfolgreichsten und didaktisch besten Lehrbuchautoren weltweit und schrieb zahlreiche Lehrbuch-Klassiker.

Julio de Paula ist Professor für Chemie am Lewis and Clark College, Portland, Oregon, USA. Zusammen mit Peter Atkins verfasste er bereits zahlreiche erfolgreiche Lehrbücher.

**5. Auflage, September 2019,**  
 694 S., geb. Hardcover,  
 EURO 69,90, Wiley-VCH  
 ISBN: 978-3-527-34392-8



### Fräsen für Hobbyschlos- ser und Oldtimerfans

Prismatische, also eckige Bauteile, kann man mehr oder weniger gut durch Sägen, Meißeln und Feilen hergestellt werden, aber viel präziser und schneller geht dies mit einer Fräsmaschine. Selbst mit einer Tischfräsmaschine können recht große und sperrige Bauteile wie Zylinderköpfe bearbeitet werden.

Interessenten, die noch nie gefräst haben, finden in diesem Buch alles Wissenswerte dazu. Dabei wird der theoretische Hintergrund nicht verschwiegen; vielmehr wird die Theorie in leichtverdaulichen Häppchen geliefert, für Nicht-Techniker verständlich. Folgende Themen werden behandelt:

- Hobby-Metallwerkstatt, Werkzeuge, Messmittel
  - Metallische Werkstoffe
  - Vorbereitung zum Fräsen
  - Übersicht Fräsmaschinen und Antriebsarten, Kaufhinweise
  - Werkzeuge
  - Spannmittel
  - Frästechniken bis hin zu Hirth-Verzahnungen und schrägverzahnenden Stirnrädern
  - Stoßen und Räumen als Sonderkapitel
  - DIY Beispiele, um Ihre Fräsmaschine zu verbessern
- Fachbuch, 2019, Flexibler Einband, 388 S., 230 Abb., Euro 37,80, Shaker Verlag**  
 ISBN 978-3-8440-6788-0



### Branchenführer Sensorik und Messtechnik

Der AMA Verband für Sensorik und Messtechnik (AMA) veröffentlicht den neuen AMA Branchenführer 2019/20.

Die Broschüre informiert auf 135 Seiten über Anbieter von Sensoren, Messtechnik und Dienstleistungen für unterschiedliche Anwenderbranchen. Der AMA-Branchenführer 2019/2020 kann kostenlos beim AMA Verband bestellt, heruntergeladen oder online genutzt werden.

Der aktualisierte Branchenführer bildet die rund 1000 Produkt- und Dienstleistungskategorien der 450 AMA-Mitglieder aus Industrie und Wissenschaft ab. Das Verbandsverzeichnis ermöglicht Interessierten die Suche nach Messgrößen, nach Schlagwörtern oder die gezielte Suche nach AMA-Mitgliedern.

Thomas Simmons, AMA-Geschäftsführer: „Der Branchenführer bietet Konstrukteuren und Entwicklern eine komprimierte Übersicht über Sensoren, Messtechnik und potenzielle Partner für Entwicklungsprojekte.“

Die gedruckte Ausgabe kann kostenlos per E-Mail: [info@ama-sensorik.de](mailto:info@ama-sensorik.de) bestellt werden oder als PDF-Datei heruntergeladen werden unter: [www.ama-sensorik.de/fileadmin/Publikationen/2019-2020\\_AMA\\_B Branchenfuhrer\\_062019.pdf](http://www.ama-sensorik.de/fileadmin/Publikationen/2019-2020_AMA_B Branchenfuhrer_062019.pdf).

# Mit aktiver Ruckentkopplung zu reduzierten Maschinenschwingungen

B. Denkena, B. Bergmann, F. Böhse

**INHALT** Für die Hochgeschwindigkeitszerspanung, wie beispielsweise bei der Fräsbearbeitung von Strukturbauteilen aus Aluminium für die Luft- und Raumfahrt, werden Werkzeugmaschinen mit einer hohen Achsdynamik benötigt. Eine hohe Achsdynamik reduziert hierbei die Stückzeit und steigert somit die Produktivität der Anlage. Insbesondere bei kleinen Achsbewegungen wird die Positionierzeit von der Beschleunigungszeit und der Zeit zum Erreichen der maximalen Beschleunigung dominiert. Eine hohe Achsdynamik ermöglicht dabei ein schnelles Erreichen der erforderlichen Achs-Beschleunigungen. Insbesondere Lineardirektantriebe ermöglichen durch große Kraftanstiegsgeschwindigkeiten eine hohe Achsdynamik und schnelle Beschleunigungsänderungen. Aufgrund des erforderlichen hohen Rucks (zeitliche Änderungen der Achsbeschleunigung) werden die Komponenten der Werkzeugmaschine jedoch zu Schwingungen angeregt. Die Schwingungen der Komponenten rufen ungewollte Relativbewegungen zwischen Werkzeug und Werkstück hervor. Dadurch wird die Genauigkeit der Werkzeugmaschinen gemindert. Als Gegenmaßnahme erfolgt in der Regel eine Begrenzung des maximalen Rucks der Antriebsachsen. Somit wird das Potenzial von Lineardirektantrieben nicht vollständig genutzt und es kommt zu einer Reduzierung der Produktivität. Das Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Leibniz Universität Hannover erforscht daher einen neuartigen Ansatz zur Entkopplung des Rucks. Der Ansatz basiert dabei auf der Integration eines Aktors zwischen Antrieb und Maschinenstruktur, der die Schwingungen gezielt kompensiert. Es zeigt sich, dass durch den Einsatz des strukturintegrierten Aktors ein schnelles und um 40 % gedämpftes Ausklingen der Schwingungsamplitude der Maschinenstruktur erreicht wird. Als Folge erhöht sich die Genauigkeit der Vorschubachse bei gleichbleibender Achsdynamik.

## Active Jerk Decoupling to Achieve Reduced Machine Vibrations

**ABSTRACT** High-speed machining requires machine tools with high axis dynamics. These are used, for instance, for milling structural components made of aluminium for the aerospace industry. High axis dynamics reduce the piece time and thus increase the productivity of the system. Especially in the case of small axis movements, the positioning time is dominated by the acceleration time and the time required to achieve maximum acceleration. High axis dynamics enables rapid achievement of the required axis accelerations. Linear direct drives, in particular, achieve high axis dynamics and rapid acceleration changes due to high force increases. However, due to the high jerk (time derivative of the axis acceleration) that is required, the components of the machine tool are excited to vibrate. The vibrations of the components cause unwanted relative movements between the tool and the workpiece. This reduces the accuracy of the machine tools. To prevent this, the maximum jerk of the drive axes is usually limited. Therefore, the potential of linear direct drives is not fully exploited and productivity decreases. The Institute of Production Engineering and Machine Tools (IFW) at the Leibniz University of Hanover is therefore researching a novel approach for decoupling the jerk. The approach is based on the integration of an actuator between the drive and the machine structure to compensate the vibrations. It has been shown that the use of the structure-integrated actuator achieves a fast and 40 % damped decay of the vibration amplitude of the machine structure. Consequently, the accuracy of the feed axis can be increased while the axis dynamics remain constant.

## 1 Strukturanregung durch Bewegung der Linearantriebe

In der Fertigungstechnik hängt die Produktivität einer Anlage maßgeblich von der Zeit für die Fertigung eines Werkstücks (Stückzeit) ab. Zur Reduzierung von Bearbeitungszeiten und somit einer Steigerung der Produktivität von Werkzeugmaschinen werden Vorschubachsen mit einer hohen Achsdynamik benötigt.

Durch den Einsatz von Lineardirektantrieben mit hohen Kraftanstiegsgeschwindigkeiten sind prinzipiell schnelle Beschleunigungsänderungen möglich. Insbesondere bei Richtungswechseln, wie zum Beispiel beim Fräsen von Taschen in Aluminium ist ein schnelles Erreichen der maximalen Achs-Beschleunigung für eine maximale Geschwindigkeit und somit eine reduzierte Bearbeitungs- und Positionierzeit erforderlich. Aufgrund der direkten Einleitung der Reaktionskräfte in die Maschinenstruktur wird

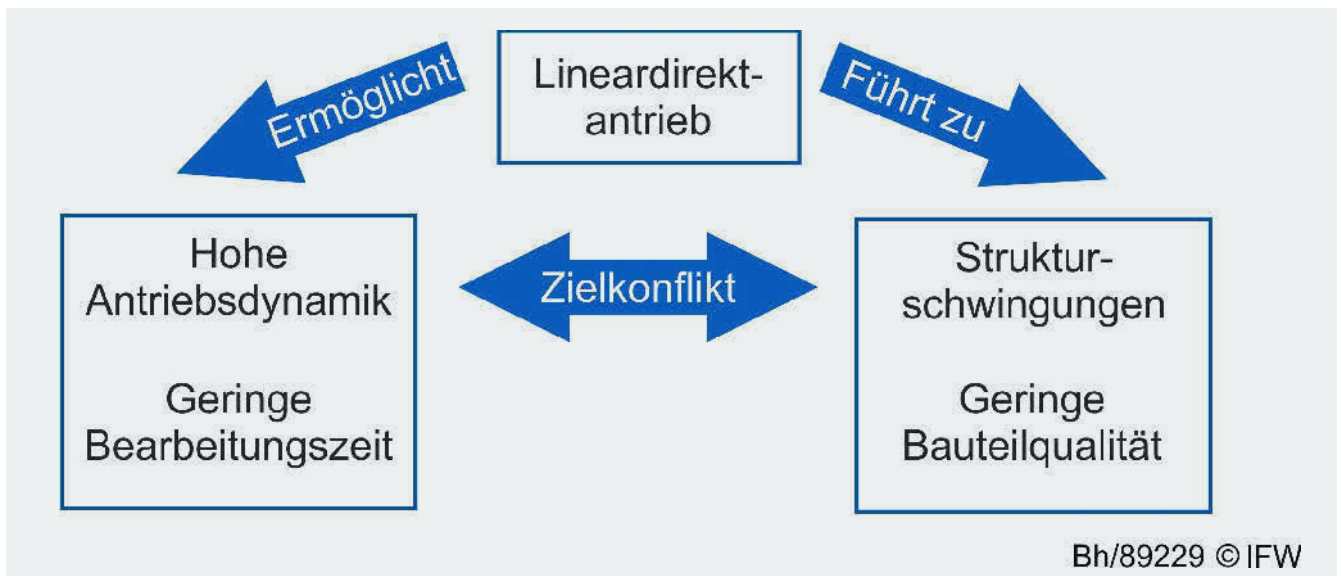


Bild 1 Zielkonflikt von hochdynamischen Lineardirektantrieben

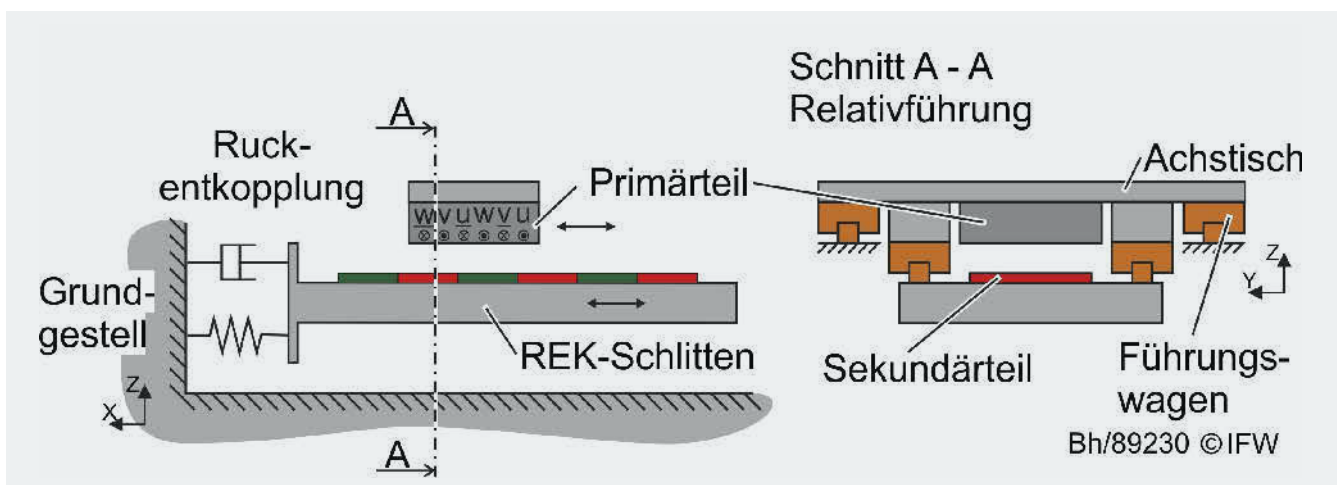


Bild 2 Prinzip der Passiven Ruckentkopplung mit Relativführungskonzept nach [2]

diese jedoch zu Schwingungen angeregt. Insbesondere hohe Beschleunigungsänderungen führen zu einer breitbandigen Schwingungsanregung der Maschinenstruktur. Dies ist auf ein breitbandiges Kraftspektrum der Reaktionskräfte durch hohe impulsartige Beschleunigungsänderungen zurückzuführen. Aufgrund des breitbandigen Kraftspektrums werden die kritischen Eigenformen der Maschinenstruktur angeregt. Dies führt zu dynamischen Auslenkungen der Maschinenstruktur [1] und schließlich zu einer Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück, sodass die Genauigkeit der Werkzeugmaschine und somit die Werkstückqualität negativ beeinflusst wird. In Bild 1 ist der Zielkonflikt bei der Verwendung von Lineardirektantrieben dargestellt.

Zur Reduzierung der Strukturschwingung erfolgt in der Regel die softwareseitige Begrenzung des Rucks. Dies führt jedoch zwangsläufig zu einer verringerten Achsdynamik und somit zu längeren Bearbeitungszeiten. Um diesen Zielkonflikt zu lösen, wurden am IFW bereits verschiedene Ansätze zur Reduktion der durch den Ruck hervorgerufenen Schwingungen erforscht. Ein Ansatz zum Lösen dieses Zielkonflikts ist die passive Ruck-

entkopplung (PREK). Hierbei wird ein zusätzlicher Ruckentkopplungsschlitten (REK-Schlitten) zwischen Antrieb und Maschinengestell integriert. In Bild 2 ist das Prinzip der passiven Ruckentkopplung skizziert. Links im Bild ist die Struktur der passiven Ruckentkopplung dargestellt. Rechts im Bild ist das Relativführungskonzept des REK-Schlittens nach [2] zu sehen. Der REK-Schlitten ist über ein Feder-Dämpfer-System mit der Maschinenstruktur beziehungsweise dem Grundgestell verbunden. Zusätzlich sind die Permanentmagnete des Antriebs auf dem REK-Schlitten appliziert, sodass die Reaktionskräfte des Antriebs direkt auf den REK-Schlitten wirken. Der REK-Schlitten wirkt in Kombination mit dem Feder-Dämpfer-System als mechanischer Tiefpassfilter für die Reaktionskräfte. Diese werden in die Maschinenstruktur abgeleitet. Die Eckfrequenz des mechanischen Tiefpassfilters wird so gewählt, dass sie kleiner als die erste kritische Eigenfrequenz der Maschinenstruktur ist. Die Maschinenstruktur reagiert bei einer Anregung in der kritischen Eigenfrequenz mit wesentlich geringeren dynamischen Auslenkungen im Vergleich zu einer konventionellen Konstruktion ohne PREK



(- 40 % nach [3]). Aufgrund der Struktur der PREK als schwingfähiges Feder-Masse-Dämpfer-System, ruft die PREK jedoch eine weitere Resonanzfrequenz hervor. Bei der Einstellung der PREK-Parameter (Steifigkeit und Dämpfung der PREK-Elemente) muss daher stets ein Kompromiss in Kauf genommen werden. Der Kompromiss besteht zwischen der Amplitude der hinzugefügten REK-Resonanz und der resultierenden Dämpfung der Strukturschwingungen. Die PREK stößt zudem bei niederfrequenten Reaktionskräften, bedingt durch die endliche Ausgleichsbewegung des REK-Schlittens, an ihre Grenzen. Niederfrequente Anregungen führen zu großen Auslenkungen des REK-Schlittens. Hier müsste der REK-Schlitten Ausgleichsbewegungen durchführen, die den Bauraum weit übersteigen [3]. Zudem müssen die notwendigen PREK-Parameter für jeden Maschinentyp individuell bestimmt werden.

Ein weiterer Ansatz zur Überwindung des Zielkonflikts ist die kinematisch gekoppelte Kraftkompensation [4]. Das von Müller [5] gezeigte Prinzip der Kraftkompensation wird hier weiterentwickelt. Der von Ihlenfeld vorgestellte Ansatz der kinematisch gekoppelten Kraftkompensation kombiniert das Prinzip der redundanten Achsen und das der Kraftkompensation. Der Ansatz basiert auf zwei Antriebsschlitten, die sich auf der gleichen Hauptachse befinden (redundante Achsen). Der Sekundärschlitten führt inverse Beschleunigungstrajektorien aus, sodass die Reaktionskräfte auf die Antriebsachse kompensiert werden. Nachteil dieses Ansatzes ist eine Reduzierung des Arbeitsraums des Antriebsschlittens durch die Gegenbewegungen des Sekundärschlittens. Zudem kann durch unterschiedliche Totzeiten der Kaskadenregler der Antriebsachsen die Kompensationsbewegung verzögert auftreten und die Strukturschwingung hierdurch sogar verstärken.

In dem durch die deutsche Forschungsgesellschaft geförderten Projekt „Aktive Ruckentkopplung für Werkzeugmaschinen“ erforscht das IFW daher einen hybriden Ansatz, der das Konzept der passiven Ruckentkopplung um aktive Elemente erweitert. Die Grundidee des neuen Ansatzes ist die Kompensation der zusätzlichen Resonanzfrequenz der passiven Ruckentkopplung durch aktive Elemente. Die aktiven Elemente sind direkt in den Kraftfluss der Antriebsachse integriert und ermöglichen einen Eingriff in die Strukturdynamik der Maschine. Hierdurch wird weiterhin die Funktionalität der PREK als mechanischer Tiefpass genutzt, jedoch ohne die zusätzliche störende Resonanzüberhöhung.

## 2 Aktive Ruckentkopplung – Prinzip / Theorie

Die aktive Ruckentkopplung (AREK) ist die Erweiterung der PREK um aktive Elemente zur Entkopplung der Reaktionskräfte des Antriebs von der Maschinenstruktur. Das Konzept basiert auf zusätzlichen Aktorelementen, die parallel zu den Feder-Dämpfer-Elementen (FDE) der PREK geschaltet sind (Bild 2). Die durch die aktiven Elemente eingebrachten Aktorkräfte wirken den Strukturschwingungen entgegen.

In Bild 3 ist das Prinzip der aktiven Ruckentkopplung anhand eines Mehrkörpersystems der X-Achse mit integriertem REK-Aktor (Tauchspulenaktor) dargestellt. Das Mehrkörpersystem bildet die dominanten Starrkörperschwingungen der Maschinenstruktur ab. Die dominanten Starrkörperschwingungen setzen sich aus den Schwingungen des Maschinenbetts und des REK-Schlittens in X-Richtung zusammen. Hierbei resultiert die Schwingung des Maschinenbetts aus elastischen Verformungen der Aufstellelemente (hier als Feder-Dämpfer-Element dargestellt). Die Schwingung des REK-Schlittens resultiert aus der Anbindung des REK-Schlittens an das Maschinenbett mittels pneumatischer Muskeln (in Bild 3 als FDE der PREK dargestellt). Die Störkräfte werden durch die Antriebskraft  $F_M$  des Achsantriebs hervorgerufen und wirken auf den REK-Schlitten. Um die Eigenschwingungen des Maschinenbetts in X-Richtung zu kompensieren, wird der Aktor parallel zu den FDE angeordnet. Es wird sowohl die auf den REK-Schlitten wirkende Aktorkraft  $F_A$ , als auch die entsprechende Aktor-Reaktionskraft  $-F_A$  auf das Maschinenbett betrachtet. Aus der Mehrkörperstruktur lässt sich folgende Bewegungsdifferentialgleichung in Matrixschreibweise ableiten, die die Eigenformen der Starrkörperschwingungen  $q$  mit den angreifenden Kräften berücksichtigt:

$$\begin{pmatrix} m_{\text{REK}} & 0 \\ 0 & m_G \end{pmatrix} \ddot{q} + \begin{pmatrix} d_{\text{REK}} & -d_{\text{REK}} \\ -d_{\text{REK}} & d_G + d_{\text{REK}} \end{pmatrix} \dot{q} + \begin{pmatrix} c_{\text{REK}} & -c_{\text{REK}} \\ -c_{\text{REK}} & c_G + c_{\text{REK}} \end{pmatrix} q = \begin{pmatrix} F_M \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -F_A \\ F_A \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\ddot{q} + \begin{pmatrix} c_{\text{REK}} & -c_{\text{REK}} \\ -c_{\text{REK}} & c_G + c_{\text{REK}} \end{pmatrix} q = \begin{pmatrix} F_M \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -F_A \\ F_A \end{pmatrix}$$

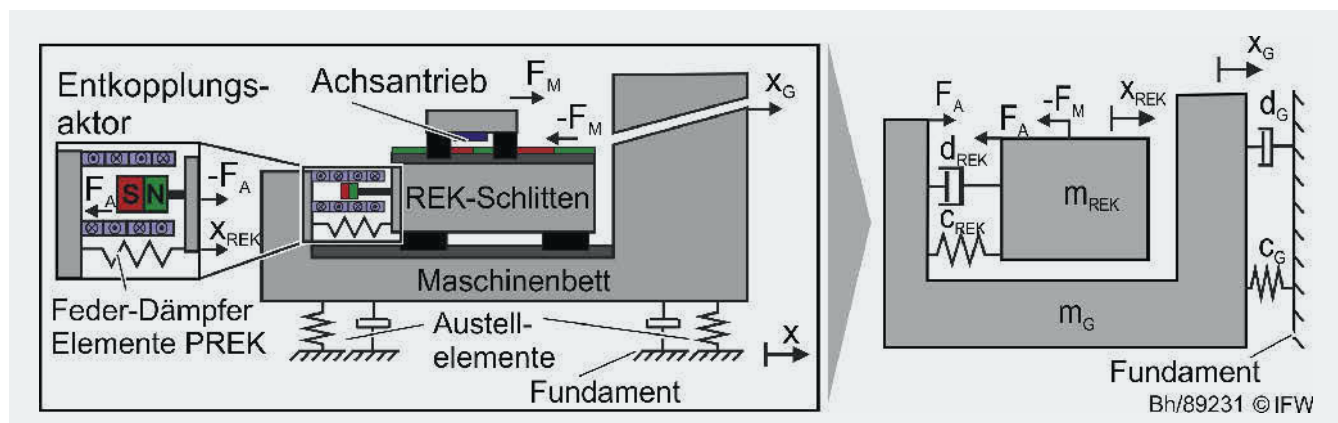


Bild 3 Mehrkörpermodell einer Vorschubachse mit integriertem AREK-Aktor

Der Vektor  $q = (x_{\text{REK}} \ x_G)^T$  beinhaltet die generalisierten Koordinaten der Freiheitsgrade der Starrkörperschwingungen des REK-Schlittens (Index „REK“) und des Gestells (Index „G“). Die Masse des Maschinenbetts wird mit  $m_G$  und die des REK-Schlittens mit  $m_{\text{REK}}$  beschrieben. Die Dämpfung der Aufstell-elemente des Maschinenbetts wird durch  $d_G$  beschrieben, die Dämpfung der REK-Elemente durch  $d_{\text{REK}}$ . Entsprechend der Notation sind  $c_G$  und  $c_{\text{REK}}$  die Steifigkeiten der Aufstell-elemente bzw. der REK-Elemente.

Stellgrößen des Regelungssystems ist hierbei die Aktorkraft  $F_A$ . Die Bewegungsdifferentialgleichung dient als Grundlage für die Aktorregelung. Über das Abbilden des dynamischen Verhaltens der Maschinenstruktur in einem Simulationsmodell wird ein Zustandsregler ausgelegt. Der Zustandsregler stellt die Aktorkraft  $F_A$  in Abhängigkeit der ermittelten Strukturschwingungen ein. Hierbei werden die Strukturschwingungen über die Zustände  $q$  und  $\dot{q}$  abgebildet. Über einen Beobachter und einem auf dem REK-Schlitten platzierten Beschleunigungssensor werden die Zu-

standsgrößen detektiert beziehungsweise geschätzt. Der Beobachter dient hier als virtueller Sensor zur Detektion der physikalisch nicht messbaren Größen. Diese sind die Positionen  $x_{\text{REK}}$  und  $x_G$  und Geschwindigkeiten  $\dot{x}_{\text{REK}}$  und  $\dot{x}_G$  der schwingfähigen Struktur (REK-Schlitten, Maschinenbett). Im Beobachter ist die Bewegungsdifferentialgleichung als echtzeitfähiges Modell abgebildet und wird prozessparallel simuliert. Durch das Abbilden des dynamischen Verhaltens der Maschinenstruktur und dem kontinuierlichen Abgleich von gemessener und simulierter Beschleunigung werden die nicht gemessenen Zustandsgrößen rekonstruiert. Die Bestimmung der Parameter (Massen, Steifigkeiten und Dämpfungen) des abgebildeten Mehrkörpersystems erfolgt aus CAD-Daten, experimentellen und simulativen Modalanalysen sowie mittels „Curve-Fitting“. Hierbei wird das analytische Modell der Strukturschwingungen simulativ abgebildet und die Modellparameter durch Abgleich von simulierten und experimentellen Übertragungsfrequenzgängen identifiziert.

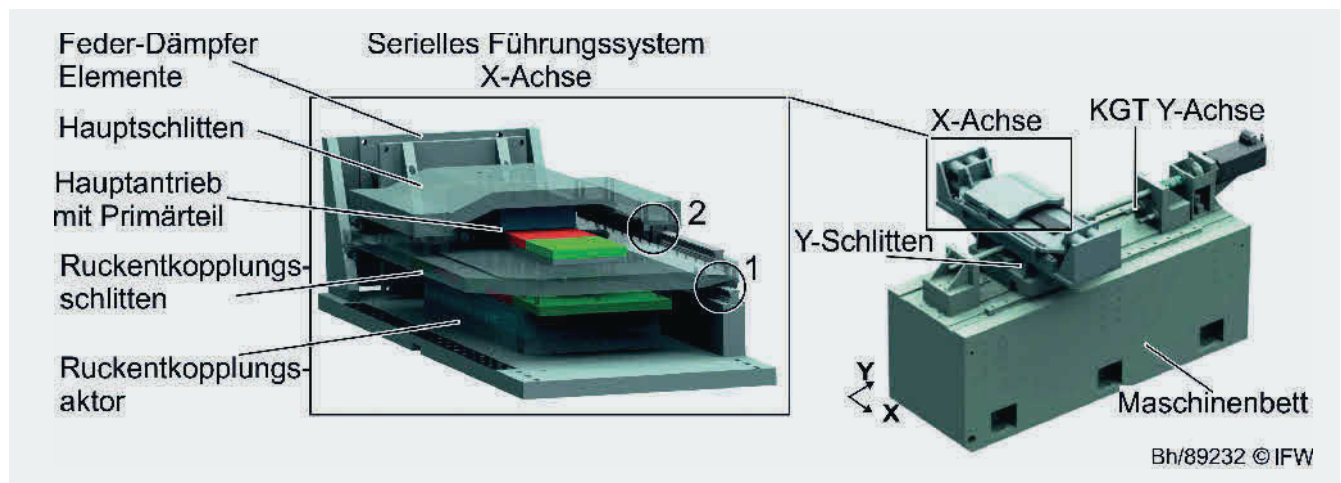


Bild 4 Kreuztisch-Prüfstand mit AREK

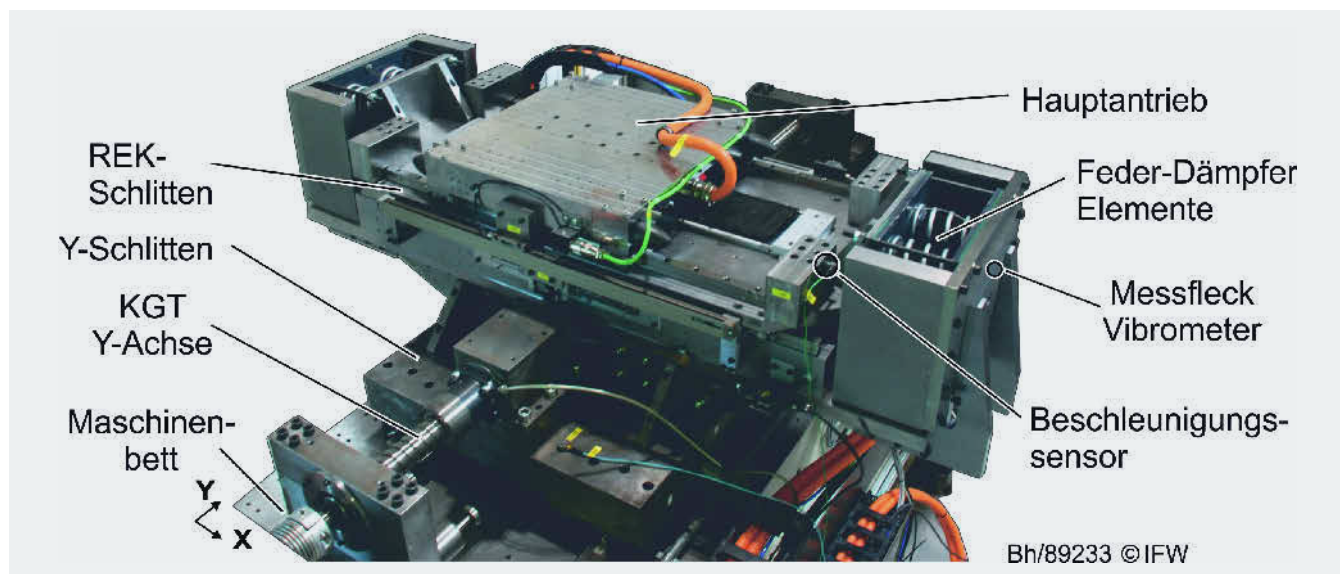


Bild 5 Kreuztisch-Prüfstand mit integriertem Beschleunigungssensor

### 3 Ein erster Prototyp und Reglerkonzeptionierung

Um die Eigenschaften aktiv ruckentkoppelter Vorschubachsen zu erforschen, wurde am IFW ein Entkopplungs-Kreuztisch konzipiert und aufgebaut (Bild 4 und Bild 5). Der Versuchsstand ermöglicht den experimentellen Vergleich von aktiver Ruckentkopplung, passiver Ruckentkopplung und starrer Anbindung. Die Entkopplungsvarianten sind hierbei in die überlagerte Achse (X-Achse) des Kreuztisches implementiert. Die Struktur eines solchen Kreuztisches wurde gewählt, da in Werkzeugmaschinen in der Regel eine solche oder ähnliche Kinematik vorliegt. Durch die Kopplung der Achsen entstehen weitere Schwingungsformen der Struktur. Hier ist von Interesse, ob die weiteren Schwingungsformen durch die aktive Ruckentkopplung zusätzlich zu störenden dynamischen Auslenkungen angeregt werden.

In Bild 4 rechts ist der Aufbau des Kreuztisches dargestellt. Als unterlagerte Y-Achse ist ein konventioneller Kugelgewindetrieb verwendet worden. Die überlagerte X-Achse ist mit einem Lineardirektantrieb und der aktiven Ruckentkopplung versehen. In Bild 4 links ist die X-Achse mit AREK im Detail dargestellt. Als Konzept zur Führung des Hauptschlittens und des REK-Schlittens, ist ein Ansatz mit einer seriellen Führung verwendet. Dieser Ansatz weicht von dem in [2] und [3] verwendeten und patentierten Prinzip eines relativ geführten REK-Schlittens (siehe Bild 2, rechts) ab. Beim seriellen Führungskonzept stellt der REK-Schlitten mit der unterlagerten Führung das seriell erste Führungssystem dar (Bild 4, Ziffer 1). Der Hauptschlitten ist über die überlagerte Führung mit dem REK-Schlitten verbunden (Bild 4, Ziffer 2) und stellt das seriell zweite Führungssystem dar. Das Primärteil des Hauptantriebs ist auf dem Führungsschlitten integriert, das Sekundärteil auf dem REK-Schlitten. Hierdurch übernimmt das seriell erste Führungssystem die Ausgleichsbewegung des Sekundärteils bei Reaktionskräften aus dem Hauptantrieb. Als AREK-Aktor ist ein konventioneller Lineardirektantrieb 1FN3600-4WC00 der Siemens AG mit einer Nennkraft von  $F_A = 5 \text{ kN}$  integriert. Das Sekundärteil des Ruckentkopplungsaktors ist auf dem REK-Schlitten und das Primärteil auf dem Y-Schlitten angebracht. Die Konstruktion ermöglicht es, je nach zu untersuchender Steifigkeit und Dämpfung, die FDE auszutauschen. Hierdurch kann die Eigenfrequenz und das Dämpfungsverhalten der passiven REK und somit des mechanischen Tiefpassfilters gezielt variiert werden. Bei den verwendeten Federpaketen handelt es sich um Elemente des Typs FEDAM-4-12.0-A03 der Firma Isoloc mit einer Steifigkeit von  $c_{\text{REK}} = 180 \text{ N/mm}$  und einem Dämpfungsgrad von  $D = 0,06$ .

Zur Charakterisierung des dynamischen Verhaltens der Maschinenstruktur wurden experimentelle Modalanalysen durchgeführt. Das dynamische Verhalten wird durch drei Starrkörperschwingungen dominiert. Die Eigenfrequenz der Starrkörperschwingung des Gestells (Maschinenbett und Peripherie) beträgt  $f_G = 38 \text{ Hz}$ . Diese resultiert aus der Masse des Gestells und der Steifigkeit der Aufstellelemente. Die Eigenfrequenz der Starrkörperschwingung des REK-Schlittens beträgt  $f_{\text{REK}} = 5 \text{ Hz}$  und setzt sich aus der Masse des REK-Schlittens und der Steifigkeit der Federpakete zusammen. Die Eigenfrequenz des REK-Schlittens stellt die Knickfrequenz des mechanischen Tiefpasses der passiven Ruckentkopplung dar und wurde nach [2] ausgelegt. Durch die Kreuztischstruktur des Prüfstands existiert bei  $f_{\text{YS}} = 150 \text{ Hz}$  eine

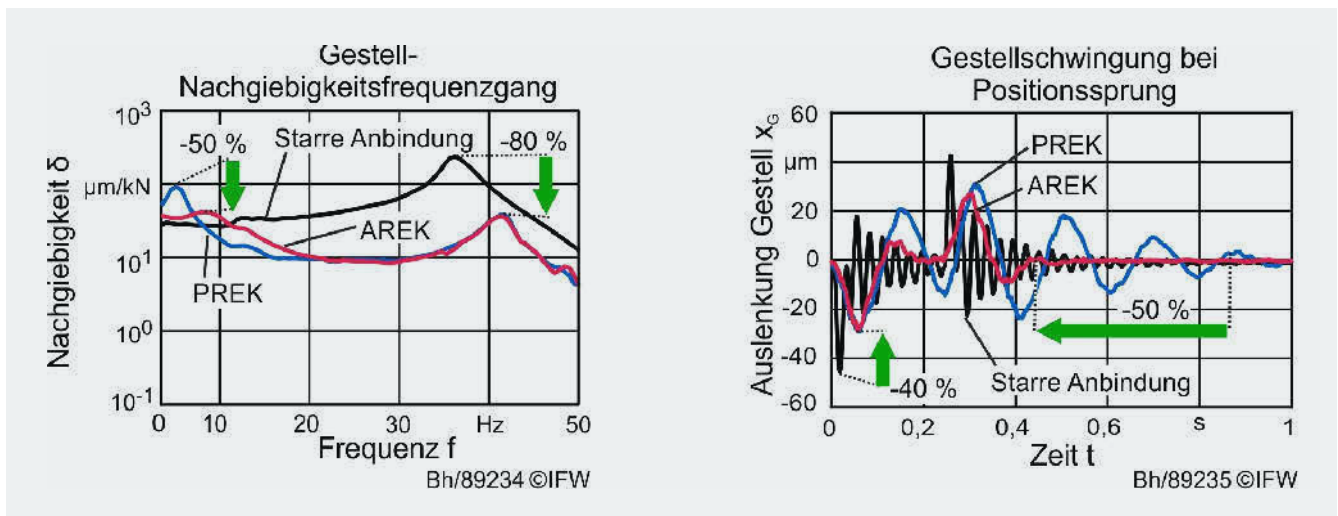
weitere Starrkörper-Eigenform, die aus der Masse des Y-Schlittens und der Steifigkeit der Führungsschuhe des Y-Schlittens resultiert.

Durch Versteifungselemente wird eine starre Verbindung zwischen REK-Schlitten und Y-Schlitten realisiert. Somit können die Varianten PREK, AREK und starre Anbindung untersucht und deren Einfluss auf die dynamische Nachgiebigkeit in X-Richtung des Kreuztisches miteinander verglichen werden. Das Antriebssystem sowie der AREK-Aktor mit zugehöriger Sensorik (piezobasierte Beschleunigungssensoren und Linearmaßstab für die Kommutterung des Aktors) sind über ein Echtzeitsystem der Firma Beckhoff Automation GmbH & Co. KG (im Folgenden: Beckhoff) eingebunden. Die Ansteuerung der X- und Y-Achse sowie des Aktors erfolgt über einen Beckhoff-Industrie-PC.

Für die Regelung des Aktors der AREK wird ein Zustandsregler mit Hilfe der Software TwinCAT3 der Firma Beckhoff auf dem Industrie-PC implementiert. Hierbei werden die inneren Zustände der schwingfähigen Struktur, das heißt die Positionen  $x_{\text{REK}}$  und  $x_G$  und die Geschwindigkeiten  $\dot{x}_{\text{REK}}$  und  $\dot{x}_G$  in einem Regelkreis durch den Zustandsregler rückgeführt. Werden die inneren Zustände durch eine Störkraft in Form einer Antriebskraft aus ihrer Ruhelage gebracht, wirkt die Aktorkraft den Auslenkungen und der Geschwindigkeit der Auslenkungen als Stellgröße entgegen. Der Zustandsregler ist anhand von Simulationsmodellen des dynamischen Verhaltens der Kreuztischstruktur ausgelegt. Die Modelle sind in die Simulationsumgebung von Matlab/Simulink implementiert und bilden das identifizierte dynamische Verhalten der Maschinenstruktur ab. Darüber hinaus ist das Sensor- und Aktorverhalten sowie das Verhalten der Beckhoff-Informationsverarbeitung (Totzeit und Abtastezeit) in der Simulationsumgebung integriert und dem realen Systemverhalten angepasst. Hierdurch lassen sich die Reglerparameter realitätsnah auslegen. Die zu regelnden Systemzustände werden über ein Kalman-Filter als Zustandsbeobachter aus dem Beschleunigungssignal rekonstruiert. In Bild 5 ist die Seitenansicht der X-Achse mit dem auf den REK-Schlitten platzierten Beschleunigungssensor dargestellt. Der Kalman-Filter basiert auf dem Modell des dynamischen Verhaltens der Kreuztischstruktur und wurde zunächst in die Simulationsumgebung integriert und ausgelegt. Hierdurch konnten die Filterparameter durch simuliertes Sensorrauschen realitätsnah ausgelegt werden. Der ausgelegte Kalman-Filter ist wie der Zustandsregler auf dem Industrie-PC implementiert.

Über den Zustandsregler wird das gewünschte dynamische Verhalten der Maschinenstruktur eingestellt. Hierfür wird das Übertragungsverhalten (Störübertragungsverhalten) zwischen Hauptantrieb und Maschinenstruktur beeinflusst. Der Maschinenstruktur wird hierbei über den Regler eine gewünschte Eigendynamik aufgeprägt. Als gewünschte Eigendynamik wird ein schnelles und gedämpftes Abklingen der Maschinenstrukturschwingungen bei Anregung durch Reaktionskräfte gefordert. Durch ein schnelles und gedämpftes Ausklingen der Schwingungen erhöht sich die Positioniergenauigkeit der Vorschubachse bei gleichbleibender Achsdynamik. Zudem werden Schwingungsmarken auf der Werkstückoberfläche reduziert. Für ein schnelles und gedämpftes Ausklingen der Schwingungen wird durch Polplatzierung die Systemdynamik der Maschinenstruktur über Vorgabe der gewünschten Eigenwerte des geschlossenen Regelkreises festgelegt. Um eine hohe Dämpfung zu erreichen, werden den Zustandsgrößen reelle negative Eigenwerte vorgegeben, das heißt der Maschinenstruktur wird ein asymptotisches Systemverhalten





**Bild 6** Schwingverhalten der Maschinenstruktur im Frequenzbereich (links) und im Zeitbereich (rechts)

aufgeprägt (künstliches Tiefpassverhalten). Simulativ und experimentell zeigt sich, dass der Betrag der Eigenwerte des geschlossenen Regelkreises auf das 3-fache des Betrags der Eigenwerte der REK-Eigenfrequenz (5 Hz) festgelegt werden sollte. Hierdurch wird die „natürliche Zeitkonstante“ der dominanten Schwingung hin zu einer schnelleren Einschwingzeit verschoben. Das System wird jedoch bei einer auf 15 Hz verschobenen neuen Eigenfrequenz hinsichtlich der ursprünglichen unregelmäßigen Eigendynamik nicht zu stark beeinflusst. Durch die minimale Beeinflussung der natürlichen Eigendynamik/Zeitkonstante einer Strecke durch die Regelung wird der Stellaufwand des Aktors möglichst klein gehalten [6]. Für die aktive Ruckentkopplung hat dies folgende Bewandnis: Ziel des künstlichen Tiefpasses ist es, das Frequenzspektrum der Antriebskräfte ab möglichst niedrigen Frequenzen gedämpft in die Maschinenstruktur zu leiten. Bei einer Knickfrequenz kleiner als das 3-fache der REK-Eigenfrequenz arbeitet der Regler zu „langsam“, sodass die Resonanzüberhöhung der REK-Eigenfrequenz dominiert und bestehen bleibt. Bei einer „schnelleren“ Regelung, das heißt einer künstlichen Eigenfrequenz größer als 15 Hz werden die Grenzen der Leistungsfähigkeit der Aktorik eher erreicht. Zum anderen dominiert hierbei die Aktordynamik gegenüber dem mechanischen Tiefpass der PREK. Als Folge werden Frequenzanteile kleiner der Eckfrequenz weniger gedämpft als bei der PREK. Eine Knickfrequenz des künstlichen Tiefpasses bei 15 Hz stellt somit für den Kreuztisch-Prüfstand ein Optimum hinsichtlich des Übertragungsverhaltens im Frequenzbereich dar.

## 4 Evaluierung des Konzepts

Zur Evaluierung der aktiven Ruckentkopplung wurde das dynamische Strukturverhalten des Kreuztisches im Frequenz- und Zeitbereich untersucht. Für die Betrachtung im Frequenzbereich wurde das Nachgiebigkeitsverhalten zwischen Hauptantrieb und Maschinengestell anhand des Nachgiebigkeitsfrequenzgangs analysiert. Hierfür wurde die Maschinenstruktur über den Hauptantrieb der X-Achse über eine sinusförmige Kraftanregung mit einer Amplitude von  $F_M = 350 \text{ N}$  in einem Bereich von  $3 - 250 \text{ Hz}$  bei einer Schrittweite von  $0,5 \text{ Hz}$  angeregt. Hierdurch konnten alle relevanten Starrkörperschwingungen angeregt und

das entsprechende Verhalten des Reglers betrachtet werden. Mit Hilfe eines Laservibrometers (Polytec, OFV 303) wurden die Gestellschwingungen in X-Richtung am Y-Schlitten ermittelt.

In Bild 6 links ist der Nachgiebigkeitsfrequenzgang des Gestells bei aktiver AREK (rot), der PREK (blau) und ohne REK (schwarz) dargestellt. Die Messungen zeigen, dass durch den Einsatz der AREK Resonanzüberhöhung durch die PREK bei 5 Hz um 50 % (von  $= 100 \text{ kN}/\mu\text{m}$  auf  $50 \text{ }\mu\text{m}/\text{kN}$ ) reduziert wird. Die Gestellschwingung bei 38 Hz ist äquivalent zur Gestellschwingung bei passiver Ruckentkopplung. Im Vergleich zur starren Anbindung (ohne REK) ist die Nachgiebigkeit um 80 % reduziert (von  $= 250 \text{ }\mu\text{m}/\text{kN}$  auf  $50 \text{ }\mu\text{m}/\text{kN}$ ). Die Starrkörperschwingung des Y-Schlittens in X-Richtung bei 150 Hz wird durch die Aktordynamik des AREK-Aktors nicht angeregt beziehungsweise verstärkt.

Besondere Herausforderungen für die Regelung der Strukturschwingungen sind diskontinuierlichen Struktur­anregungen durch Positioniersprünge. Zur Verifizierung des Reglers werden Positioniersprünge von  $s = 120 \text{ mm}$  bei einem trapezförmigen Beschleunigungsprofil ( $a_{\text{MAX}} = 15 \text{ m/s}^2$ ,  $v_{\text{MAX}} = 0,5 \text{ m/s}$ ) für unterschiedliche Ruckwerte durchgeführt. Ein maximaler Ruck von  $r = 500\,000 \text{ m/s}^3$  wurde als Referenzwert aus den in [7] genannten Versuchsanlagen abgeleitet und stellt zudem die maximale Belastung der Starren Anbindung dar. Wird die Maschinenstruktur mit dem Ruck von  $r = 500\,000 \text{ m/s}^3$  angeregt, führt der REK-Schlitten eine inertielle Ausgleichsbewegung aus. Die resultierende maximale Amplitude der Ausgleichsbewegung des REK-Schlittens beträgt bei PREK 1,5 cm und bei AREK 0,6 cm. Die Grenze der maximal möglichen Auslenkung des REK-Schlittens liegt konstruktionsbedingt bei 4 cm. In Bild 6, rechts ist die entsprechende Auslenkung des Maschinengestells dargestellt. Es zeigt sich, dass durch die PREK die maximale Amplitude im Vergleich zur starren Anbindung um 40 % (von  $x_G = 42 \text{ }\mu\text{m}$  auf  $25 \text{ }\mu\text{m}$ ) reduziert werden kann. Die Gestellschwingung bei PREK weist jedoch eine 40 % höhere Ausschlagzeit auf. Die Auslenkung des Maschinengestells mit aktiver Ruckentkopplung hat eine ähnliche Amplitude wie die PREK. Die Ausschlagzeit ist jedoch um 50 % kürzer. Für die Fertigung von Strukturbauteilen aus Aluminium leiten sich hieraus geringere Positionierzeiten bei einer erhöhten Positionier-

genauigkeit ab. Durch das reduzierte Schwingverhalten bilden sich auf der Werkstückoberfläche keine markanten Schwingungsmarken. Somit ist eine schnellere Bearbeitung bei verbesserter Oberflächengüte realisierbar.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Hinsichtlich der erzielbaren Produktivität ist die Stückzeit in der Fertigungstechnik eine relevante Kenngröße. Insbesondere dominiert bei kleinen Achsbewegungen die Beschleunigungszeit und die Zeit zum Erreichen der maximalen Beschleunigung. Hierfür sind Vorschubachsen mit einer hohen Achsdynamik erforderlich. Prinzipiell ermöglichen Lineardirektantriebe eine hohe Achsdynamik. Durch die direkte Anbindung an das Maschinen-gestell wird dieses bei hohen Ruckwerten jedoch zu Schwingungen angeregt. Die resultierenden Schwingungen führen zu einer verminderten Bauteilqualität. Als Folge muss die mögliche Achsdynamik wiederum reduziert werden. Durch die Integration von mechatronischen Systemen lässt sich dieser Zielkonflikt lösen. Es wurde die aktive Ruckentkopplung als eine mechatronische Komponente zur Steigerung der Achsdynamik bei reduzierten Maschinenschwingungen vorgestellt. Durch die Verbindung von passiver Ruckentkopplung und aktiver Dämpfung der Ruckentkopplungs-Resonanz lassen sich Schwingungen der Maschinenstruktur deutlich reduzieren. Anhand eines Kreuztisch-Prüfstands mit integrierter aktiver Ruckentkopplung konnte die Effektivität der aktiven Ruckentkopplung im Vergleich zur passiven Ruckentkopplung und einer starren Anbindung gezeigt werden. Durch das hybride Konzept der aktiven Ruckentkopplung wird das Tiefpassverhalten der passiven Ruckentkopplung und zusätzlich eine Dämpfung der Ruckentkopplungs-Resonanz bei gleichzeitig geringem Stellaufwand des Aktors realisiert. Die Gestellschwingung lässt sich im Vergleich zur starren Anbindung um 80 % dämpfen. Die Ruckentkopplungs-Resonanz wird bei der aktiven Ruckentkopplung um 50 % reduziert. Im Zeitbereich führt die aktive Ruckentkopplung bei einem Positionssprung mit einem maximalen Ruck zu einer um 40 % verringerten Schwingungsamplitude der Gestellschwingung im Vergleich zur starren Anbindung. Die Einschwingzeit verkürzt sich um 50 % im Vergleich zur passiven Ruckentkopplung. Somit ist eine Steigerung der Achsdynamik bei reduzierten Maschinenschwingungen realisierbar.

Die Parametrierung des Reglers der aktiven Ruckentkopplung erfolgt modellbasiert. Eine Herausforderung stellen hierbei sich ändernde dynamische Eigenschaften der Maschinenstruktur dar. Ändern sich Massen- und Steifigkeitsverhältnisse der Maschinenstruktur, führt dies zu einer Instabilität des Reglers. Der Fokus weiterer Forschung liegt auf der autonomen Reglerparametrierung in Abhängigkeit von sich ändernden dynamischen Eigenschaften der Maschinenstruktur.

**Danksagung:** Das Forschungsprojekt „Aktive Ruckentkopplung für Werkzeugmaschinen“ (Projektnummer: 269666724) wird mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert. Das IFW bedankt sich für die finanzielle Unterstützung in diesem Projekt.

## Literatur

- [1] Altintas, Y.; Verl, A.; Brecher, C.; Uriarte, L.; Pritschow, G.: Machine tool feed drives. CIRP Annals 60 (2), S. 779–796, 2011
- [2] Hesse, P.: Energieeffizientes Relativführungskonzept für ruckentkoppelte Vorschubachsen. Dr.-Ing. Diss., Garbsen, Leibniz Universität Hannover, IFW, 2008
- [3] Gümmer, O.: Produktivitäts- und Genauigkeitssteigerung von Fräsmaschinen durch ruckentkoppelte Vorschubantriebe und magnetische Führungseinheiten. Dr.-Ing. Diss., Garbsen, Leibniz Universität Hannover, IFW, 2014
- [4] Ihlenfeldt, S.; Müller, J.; Merx, M.; Peukert, C.: Kinetically Coupled Force Compensation – Experimental Results and Advanced Design for the 1D-Implementation. Journal of Manufacturing and Materials Processing 3 (1), S. 24, 2019
- [5] Müller, J.: Vergleichende Untersuchung von Methoden zur Verringerung der Gestellanregung durch linearmotorgetriebene Werkzeugmaschinenachsen. Dr.-Ing. Diss., Dresden, Technische Universität Dresden, LWM, 2009
- [6] Schweitzer, G.; Traxler, A.; Bleuler, H.: Magnetlager: Grundlagen, Eigenschaften und Anwendungen berührungsfreier, elektromagnetischer Lager. Springer, Berlin, Heidelberg, 1993
- [7] Berkemer, J.: Effektive Nutzung des Leistungspotentials von Direktantrieben bei Werkzeugmaschinen (Projekt EffeNDi): Impulsenkopplung, Beschleunigungsregelung, achsübergreifende Regelung und gekoppelte Simulation. VDI-Verl., Düsseldorf, 2006



Prof. Dr.-Ing. **Berend Denkena**  
Institutsleiter



Dr.-Ing. **Benjamin Bergmann**  
Bereichsleiter Maschinen und Komponenten



**Frederic Böhse**, M. Sc.  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
alle:  
Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen  
(IFW), Leibniz Universität Hannover  
An der Universität 2, 30823 Garbsen  
Tel.: 05 11 / 7 62-1 83 11  
E-Mail: boehse@ifw.uni-hannover.de  
www.ifw.uni-hannover.de

## Untersuchung von Flugzeugoberflächen nach Blitzschlag



Validierung der Multikopter-basierten Oberflächeninspektion am realen Flugzeug. (Bild: IRT / WZL)

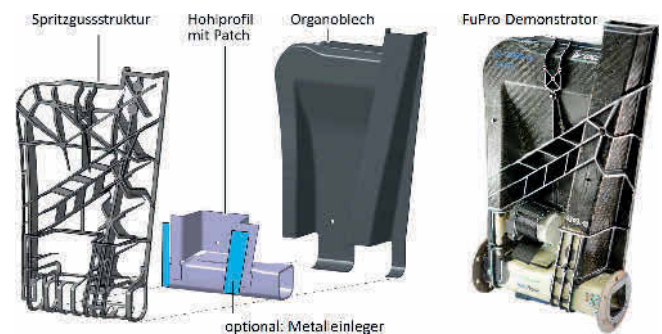
Ein Verkehrsflugzeug wird durchschnittlich einmal im Jahr vom Blitz getroffen. Um mögliche Schäden am Flugzeug auszuschließen, muss eine zeitaufwendige Sichtprüfung der Außenhaut durch das Wartungspersonal durchgeführt werden. Damit dieser Prüfprozess einfacher zu handhaben ist, entwickelten das Institut für Regelungstechnik (IRT) und der Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik und Qualitätsmanagement des WZL im Rahmen des Forschungsprojekts „Automatische, Multikopter-basierte Indoor-Inspektion von großen Oberflächen“ – kurz AMIIGO – ein Multikopter-basiertes System zur effizienteren Defektidentifikation und -lokalisierung am Flugzeug. Diese mobile Einheit ermöglicht eine einfache, zerstörungsfreie Inspektion, indem sie mit industrieller Kamertechnik die gesamte Oberfläche des Flugzeugs digitalisiert. Bestandteile des Gesamtsystems sind, neben dem Multikopter und einer robusten Flugregelung, eine hochgenaue Lokalisierung und eine vollautomatische Bildauswertung. Die Automatisierung des Flugverhaltens des Multikopters wird sukzessive durch eine Pfadplanung, eine darauf aufbauende Trajektorienoptimierung, eine Flugregelung sowie mittels einer Kollisionsvermeidung in Echtzeit realisiert. Die vom IRT umgesetzten Navigations- und Regelungsalgorithmen werden dabei

gänzlich autark auf der Drohne selbst ausgeführt. Eine Sensorfusion berechnet dafür zunächst alle 10 Millisekunden eine auf wenige Millimeter genaue Position der Drohne indoor im Wartungshangar. Auf Basis der aktuellen Position sowie eines im Voraus optimierten Pfades über die Oberflächen können alle für den Flug notwendigen Steuerbefehle ermittelt werden. Mögliche Hindernisse werden parallel dazu mit einem Laserscanner dynamisch erkannt, um Kollisionen beim Flug zu vermeiden. Die automatisierte Defekterkennung in aufgenommenen Bildern sowie die Visualisierung der berechneten Positionen der stecknadelkopfgroßen Defekte realisiert das WZL. Einsatz finden klassische Algorithmen der Machine Vision sowie moderne Verfahren des Machine Learning. Konkret erfolgt die Identifikation von wartungsrelevanten Oberflächendefekten in den ortsindexierten Bilddaten durch einen Hybrid aus einem klassischen Eck-Erkennungsalgorithmus und einem Convolutional Neural Network. Somit identifizierte Defekte werden dem Wartungspersonal in Form einer interaktiven „Defect-Map“ zur Verfügung gestellt. Dadurch wird es den Wartungsverantwortlichen ermöglicht, die Notwendigkeit und den Umfang einer Wartung abzuschätzen sowie ebendiese Wartung in Abhängigkeit von der Position und Art der Defekte zu planen. Für die Lokalisation der identifizierten Defekte auf der Flugzeugoberfläche werden die Bilddaten synchron zum Zeitpunkt der Aufnahme mit Positionsdaten aus der Sensorfusion referenziert. Basierend auf dem Positionsdatum der Bildaufnahme und der messtechnisch ermittelten Position des realen Flugzeugs im aufgespannten Koordinatensystem erfolgt die virtuelle Projektion der Defektposition auf die Flugzeugmodelloberfläche. Das innerhalb von zwei Jahren entwickelte System konnte im Rahmen des Projektabschlusses dank der Unterstützung durch die Lufthansa Technik AG in Hamburg an einer Boeing 737–500 erfolgreich demonstriert werden. Gefördert wurde das Projekt durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF) mit Unterstützung der deutschen Forschungsvereinigung für Meß-, Regelungs- und Systemtechnik e. V. (DFMRS) aus Bremen. [www.wzl.rwth-aachen.de](http://www.wzl.rwth-aachen.de)

## Multi-Material-Design für hochbelastbare Strukturbauteile

Im BMBF-Projekt „FuPro“ entwickelte ein interdisziplinäres Team aus Industrie und Wissenschaft eine neuartige Technologie, die erstmals Faserverbund-Hohlprofile mit kontinuierlichem Faserverlauf in hybride Organoblech-Spritzgießstrukturen integriert. So entstehen hochbelastbare Strukturbauteile, mit denen das konstruktive und werkstoffliche Leichtbaupotenzial der Komponenten im Sinne eines Baukastensystems bestmöglich ausgeschöpft werden kann.

Unter Federführung der Brose GmbH und des Instituts für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK) der TU Dresden wurde diese Bauweise nun im Anwendungsmaßstab umgesetzt. Der realisierte Herstellungsprozess mit nur zwei Werkzeugen ist dabei hinsichtlich Ressourceneffizienz und Wirtschaftlichkeit zukunftsweisend. Das hohe Einsatzpotenzial der Technologie wurde am Beispiel einer Gurt-Integrallehne nachgewiesen. Hierbei konnten im Vergleich zur klassischen Lösung über 30 % Massereduktion



FuPro-Demonstratorbauteil. Bild: TU-Dresden

erreicht und zehn Stahl-Stanzbiegeteile sowie zugehörige Füge- und Lackierprozesse durch eine integrale Lösung auf Thermo-plast-Basis ersetzt werden.

[www.tu-dresden.de/mw/ilk](http://www.tu-dresden.de/mw/ilk), <https://plattform-forel.de/fupro>



# Ansatz zur Ermittlung von Toleranz-Kosten-Kurven in der Serienproduktion

K. Brückner, M. Storch, M. Hallmann, B. Heling, B. Schleich, S. Wartzack

**INHALT** Die Vergabe von Toleranzen dient der Erfüllung festgelegter Qualitätskriterien, beeinflusst jedoch zugleich wesentlich die Fertigungskosten. Um diesen Konflikt effizient zu lösen, hat sich die Methode der Toleranz-Kosten-Optimierung etabliert. Voraussetzung für eine realitätsnahe Toleranzfestlegung ist die Verfügbarkeit eines geeigneten Kostenmodells. Obgleich aus Literatur und Praxis zahlreiche Ansätze bekannt sind, eignen sich diese nur bedingt für die Serienfertigung. Um diese Lücke zu schließen, wird im Folgenden ein neuer Ansatz zur Ermittlung von Kostenkurven, welche unter anderem prozessfähigkeitsabhängige Messkosten als auch mehrere Prozessparameter berücksichtigt, vorgestellt. Das Beispiel eines Hochdruckeinspritzventils zeigt exemplarisch dessen Anwendung im industriellen Umfeld.

## A Novel Approach to the Identification of Tolerance-Cost-Relationships in Serial Production

**ABSTRACT** Tolerance allocation serves to fulfill given quality criteria but strongly influences the resultant production costs. Thus, the method of tolerance-cost-optimization has established itself for efficiently solving this conflict. A prerequisite for a realistic tolerance allocation is the availability of a suitable cost model. Although various approaches are known from literature and practice, they are only conditionally suitable for series production. In order to close this gap, a novel approach to the identification of tolerance-cost-relationships is presented in the following. Therefore, process capability-dependent measuring costs as well as several process parameters are considered. The example of a high-pressure injection valve shows the application in industry.

## 1 Einleitung und Motivation

Hohe Qualitätsanforderungen, steigender Kundendruck und zunehmender internationaler Wettbewerb setzen Industrieunternehmen mehr denn je unter enormen Kosten- und Qualitätsdruck [1, 2]. In diesem Kontext ist die Produktentwicklung stets einem Zielkonflikt ausgesetzt: Während zu groß gewählte Toleranzen die Funktionserfüllung nicht gewährleisten können, haben zu klein gewählte hohe Kosten zur Folge [3].

Um diesen Konflikt zu lösen, ist der Einsatz iterativer, statistischer Toleranzanalysen in Kombination mit Beitragsleistungsanalysen in der Industrie üblich [1, 4]. Zwar fließt dabei der Kostenaspekt indirekt über den qualitativen Grundsatz „Toleranzen so eng wie nötig, so weit wie möglich zu wählen“ ein, eine quantitative Berücksichtigung bleibt auf diese Weise jedoch aus [4, 5]. Die Methode der kostengetriebenen Toleranz-Kosten-Optimierung hingegen lässt eine qualitäts- und kostenangepasste Toleranzvergabe zu. Dabei werden die initialen Toleranzwerte so angepasst, dass ein Kostenminimum bei gleichzeitiger Erfüllung der Qualitätsanforderungen erzielt wird (Bild 1). [3] Als Zielfunktion dient dabei ein Toleranz-Kosten-Modell zur Abbildung der

Gesamtkosten als Summe der Einzelkosten je Toleranz, die sich über geeignete Toleranz-Kosten-Kurven beschreiben lassen [6]. Zur Beurteilung geforderter Qualitätskriterien, wie zum Beispiel Funktion, Ästhetik oder auch Bauteilsteifigkeit [4, 7], werden vorab definierte Funktionszusammenhänge  $\hat{f}$  für das technische System mit Hilfe von Stichprobenverfahren analysiert und die Ausschussrate über geeignete Schätzverfahren ermittelt [8]. Neben Toleranzen  $\vec{t}$  können dabei zusätzlich Prozessparameter  $\vec{p}$ , wie zum Beispiel Drehzahlen und Vorschub, im selben Optimierungsprozess kostenminimal festgelegt werden.

Für eine aussagekräftige Optimierung ist eine realitätsnahe Abbildung der toleranzabhängigen Kosten in Form von Toleranz-Kosten-Kurven zwingend erforderlich. Obgleich aus Literatur und Praxis eine Vielzahl an Kostenkurven bekannt sind [6], sind diese für die Serienfertigung nur bedingt geeignet. Zumeist werden lediglich eine eingeschränkte Anzahl an Kostenarten toleranzabhängig [9, 10] oder nur vereinfacht über Schätzungen [11, 12] betrachtet. Zudem werden Prozessparameter nur sehr eingeschränkt berücksichtigt oder gar gänzlich vernachlässigt [6, 9–14]. Gerade in der Serienfertigung ergibt sich durch die hohen Stückzahlen ein nicht zu unterschätzendes Kostenpoten-

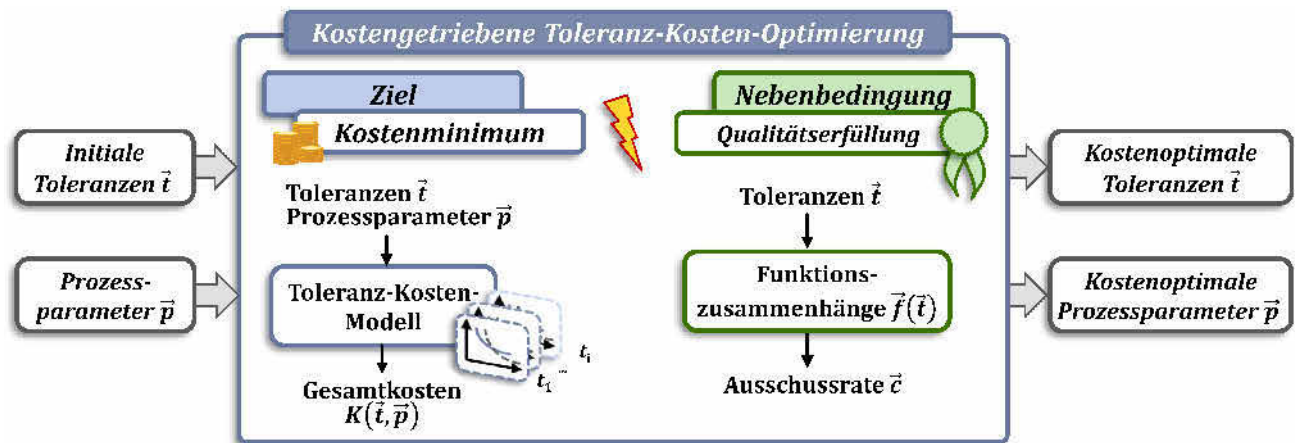


Bild 1 Ziel und Inhalte der kostengetriebenen Toleranz-Kosten-Optimierung

zial. Um dieses Potenzial gezielt ausschöpfen zu können, stellt dieser Beitrag einen Ansatz zur Ermittlung von Toleranz-Kosten-Kurven in der Serienproduktion vor, der neben allen toleranzabhängigen Kosten eines Fertigungsprozesses auch die Variation beliebig vieler Prozessparameter berücksichtigt. Die Betrachtung von Serienprozessen erfolgt über die Kostenermittlung auf Basis der statistischen Absicherung. Hierzu werden vorab in Kapitel 2 und Kapitel 3 die Grundlagen zur statistischen Absicherung und zur Kostenrechnung in der Serienfertigung beschrieben. Kapitel 4 stellt anschließend den entwickelten Ansatz mit seinen Teilschritten vor. Die industrielle Umsetzung des theoretisch hergeleiteten Ansatzes zeigt Kapitel 5 exemplarisch am Beispiel eines Hochdruckeinspritzventils, ehe Kapitel 6 diesen Beitrag abschließend zusammenfasst.

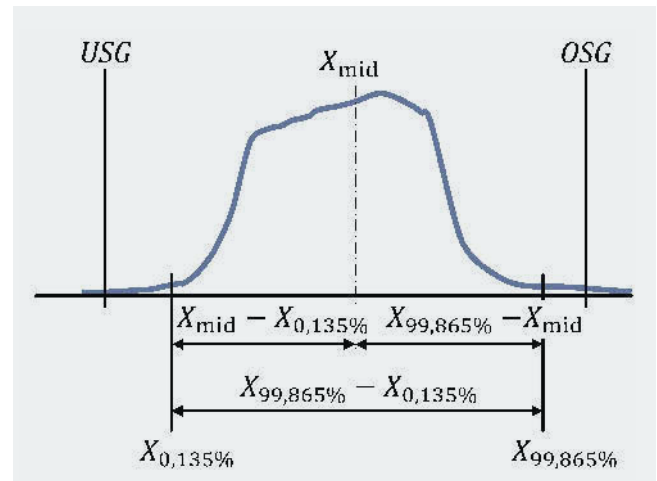
## 2 Statistische Absicherung in der Serienproduktion

Für einen produktiven Einsatz von Fertigungsprozessen in der Serienproduktion kommen Fähigkeits- und Leistungsnachweisen nach ISO 9001 eine wesentliche Bedeutung zu. Diese haben das Ziel zu prüfen, ob ein Prozess in Anbetracht seiner natürlichen Streuung (Fähigkeit) und Lage (Beherrschtheit) festgelegte Spezifikationsgrenzen einhält [13]. Im Kontext der Erhebung des statistischen Kostenanteils der Toleranz-Kosten-Kurven ist die Bestimmung des kritischen Fähigkeitsindex  $C_{pk}$  erforderlich. Dieser bildet die Fähigkeit des Prozesses ab, da die toleranzbezogenen Kosten den eingeschwungenen Serienprozess abbilden müssen [15]:

$$C_{pk} = \min \left( \frac{X_{mid} - USG}{X_{mid} - X_{0,135\%}}; \frac{OSG - X_{mid}}{X_{99,865\%} - X_{mid}} \right). \quad (1)$$

Hierbei ist dieser für Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen beliebiger Fertigungsverteilungen ermittelbar, wobei  $X_{mid}$  für den Median,  $X_{0,135\%}$  bzw.  $X_{99,865\%}$  für das Quantil mit einer Auftretenswahrscheinlichkeit von 0,135 % beziehungsweise 99,865 % steht (Bild 2). [15]

Je nach Branche sind dabei unterschiedliche Anforderungen zu erfüllen. In der Automobilindustrie muss stets eine Mindestforde-

Bild 2 Bestimmung des Prozessfähigkeitsindex  $C_{pk}$  nach [15]

rung von  $C_{pk} = 1,33$ , die einem Ausschuss von circa 64 ppm entspricht, erfüllt werden [16]. Leistet ein Fertigungsprozess eine Fähigkeit von  $C_{pk} = 1,33$ , kann dieser mittels statistischer Prozessregelung geführt werden. Andernfalls genügt eine statistische Regelung mittels Stichprobenanalyse nicht mehr und es ist eine kostenintensive Absicherung mittels 100 %-Messung erforderlich. Für eine detaillierte Betrachtung empfiehlt sich unter anderem [17, 18].

## 3 Toleranzabhängige Kostenarten in der Serienproduktion

Für eine ganzheitliche Erhebung geeigneter Toleranz-Kosten-Kurven müssen vorab alle toleranzabhängigen Herstellkosten identifiziert werden.

Grundsätzlich lassen sich die Herstellkosten in Fertigungs-, Material- und Werkverwaltungs-kosten unterscheiden [17]. Fertigungs- und Materialkosten gliedern sich wiederum jeweils nach Art der Verrechnung in Einzel- und Gemeinkosten. Eine weitere Unterteilung kann nach der Beschäftigungsschwankung in fix und variabel erfolgen. Nach § 255 HGB oder § 203 UGB werden

verschiedene Kostenarten für das Rechnungswesen definiert, die in diesen gesetzlichen Rahmen betriebsindividuell ermittelt und in weitere Kostenarten aufgeschlüsselt werden. Dementsprechend werden zum Beispiel variable Fertigungskosten in Instandhaltungskosten für Maschinen und Werkzeuge, Kosten für Verbrauchsstoffe und Energie sowie Personalkosten der direkten Mitarbeiter gegliedert. Als fixe Fertigungskosten sind unter anderen maschinenbezogenen Abschreibungen oder Zinsen zu nennen.

Liegt die betriebsindividuelle Aufstellung der Kostenarten aus dem Rechnungswesen vor, müssen diese vorab auf Toleranzabhängigkeit geprüft werden. Eine Kostenart ist toleranzabhängig, wenn sich bei Änderung eines Fertigungsprozessparameters eine Änderung sowohl der Merkmalsstreuung als auch der Kosten einstellt. Für eine kostenoptimale Toleranzfestlegung müssen demnach alle toleranzabhängigen Kostenarten berücksichtigt werden.

#### 4 Ansatz zur Ermittlung von Toleranz-Kosten-Kurven

Um die in Kapitel 2 und Kapitel 3 vorgestellten Aspekte ganzheitlich in der Kostenmodellierung zu berücksichtigen, ist eine systematische Vorgehensweise erforderlich, Bild 3. Im ersten Schritt gilt es die relevanten Funktionsbestandteile der Toleranzkosten zu identifizieren und dabei den Einfluss der Prozessfähigkeit zu berücksichtigen. Sind die relevanten Anteile bekannt, werden in einem zweiten Schritt die Zusammenhänge zwischen Prozessparameter und Kostenanteile hergestellt. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse können im dritten Schritt für jedes Einzelmerkmal eine Vielzahl an Toleranz-Kosten-Kurven, auch in ihrer Gesamtheit als Kurvenschar bezeichnet, durch die verschiedenen Prozessparameterkombinationen ermittelt werden. Sind mehr als ein Einzelmerkmal funktionskritisch, so müssen die Kurvenscharen aller Merkmale in einem gemeinsamen Toleranz-Kosten-Modell zusammengefasst werden. Dieses dient als Grundlage der Toleranz-Kosten-Optimierung (Bild 1).

##### 4.1 Funktionsbestandteile von Toleranz-Kosten-Kurven in der Serienfertigung

Um die Einflüsse auf die verschiedenen toleranzabhängigen Kostenarten zu untersuchen, wird zunächst ein beliebiger, konstanter Fertigungsprozess betrachtet. Alle Prozessparameter, wie zum Beispiel Werkzeugwechselintervall oder Taktzeit, werden als konstant betrachtet.

Dabei werden die Kosten in zwei Kategorien unterteilt: prozessbezogene fixe und variable Toleranzkosten.

##### Prozessbezogene fixe Toleranzkosten $K_{\text{fix}}$

Unter den prozessbezogenen fixen Toleranzkosten  $K_{\text{fix}}$  werden alle Kosten zusammengefasst, die im Rahmen des Fertigungsprozesses konstant sind und sich somit bei einer Anpassung der geforderten Toleranzen für die eingestellten Prozessparameter nicht ändern. Im Gegensatz zur üblichen Definition der fixen Kosten aus Kapitel 3 wird als Bezugsbasis nicht der Beschäftigungsgrad, sondern die Toleranz herangezogen. Werden diese Kosten in einer qualitativen Toleranz-Kosten-Kurve dargestellt, bilden diese einen Fixkostensockel, an den sich die Kurve bei größer werden-

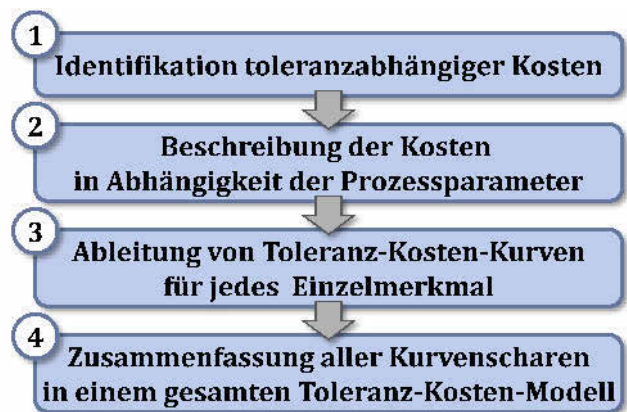


Bild 3 Vorgehensweise zur Ermittlung von Toleranz-Kosten-Kurven für die Serienfertigung

den Toleranzen asymptotisch annähert (Bild 4). Dieser Sockel muss unabhängig der Merkmalstoleranz aufgewendet werden.

##### Prozessbezogene variable Toleranzkosten $K_{\text{var}}$

Die prozessbezogenen variablen Toleranzkosten  $K_{\text{var}}$  hingegen sind über die Toleranzbreite variabel und verursachen dadurch eine Krümmung der Kostenkurve (Bild 4). Diese setzen sich aus Fehlerkosten, welche durch OEE (Overall Equipment Effectiveness)-Verluste entstehen, zusammen. Bei konstanter Prozesslage und -streuung führen engere Toleranzgrenzen zu einer abnehmenden Prozessfähigkeit und somit zu einer höheren Anzahl an Schlechteilen. Durch Addition des prozessbezogenen fixen und variablen Toleranzkostenanteils setzt sich die in orange dargestellte gesamte Toleranzkostenkurve zusammen. Diese ist jedoch nur gültig insofern eine Prozessfähigkeit von  $C_{\text{pk}} = 1,33$  nicht unterschritten wird.

##### Sprunghafter Anstieg der Toleranz-Kosten-Kurve

Aus Kapitel 2 ist bekannt, dass eine Unterschreitung der Prozessfähigkeit von  $C_{\text{pk}} = 1,33$  eine 100 %-Messung erfordert und daher in der Kostenberechnung berücksichtigt werden muss. Dadurch steigen der Messaufwand und folglich die fixen Toleranzkosten  $K_{\text{fix}}$  sprunghaft an. Dieser Sprung ist in Bild 4 durch die zweite, gestrichelte Toleranz-Kosten-Kurve in roter Farbe dargestellt.

##### 4.2 Erhebung von Toleranz-Kosten-Kurven in Abhängigkeit von Produktionsprozessparametern

Die im vorherigen Kapitel hergeleitete Kostenkurve ist für eine feste Prozessparameterkombination gültig. Eine Variation einzelner Prozessparameter wie zum Beispiel der Vorschubgeschwindigkeit hat sowohl Einfluss auf den Fixkostensockel als auch auf die Krümmung der Toleranz-Kosten-Kurve. Folglich ergeben sich je nach Konstellation der verschiedenen Prozessparameter individuelle Toleranz-Kosten-Kurven, sodass letztlich für einen Prozess eine Schar an potenzieller Toleranz-Kosten-Kurven zur Auswahl stehen. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass die Kosten in Abhängigkeit der Prozessparameter beschrieben werden.



### Ermittlung der variablen Toleranzkosten $K_{var}$

Basis für die Berechnung der variablen Fehlerkosten ist ein Modell, welches die Prozessfähigkeit und die damit einhergehenden Wahrscheinlichkeiten für Teile außerhalb definierter Grenzen prognostiziert. Mit der prognostizierten Anzahl der Teile außerhalb der Spezifikationsgrenzen findet die kostenmäßige Bewertung der zu erwartenden Schlechteile beziehungsweise Stillstandzeiten statt.

Um den Zusammenhang zwischen den festgelegten Prozessparametern und den resultierenden Toleranzen sowie des Ausschusses herstellen zu können, muss eine ausreichend große Datenbasis vorliegen. Die Wahl und Umfang des experimentellen

Versuchsplans muss stets anwendungs- und unternehmensspezifisch unter Berücksichtigung zahlreicher Aspekte, wie unter anderem der Anzahl betrachteter Maschinen und Prozessschritte sowie der Anzahl und Stufen der Prozessparameter, gewählt werden, damit eine geforderte Prognosegüte bei vertretbarem Aufwand sichergestellt werden kann. Auf Basis der experimentell ermittelten Daten wird im nächsten Schritt die Ausschussquote geschätzt. Hierzu können verteilungsabhängige oder -unabhängige Verfahren zum Einsatz kommen. Der Einsatz verteilungsabhängiger Verfahren liefert eine bessere Prognosegüte, jedoch muss die jeweils angenommene Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion mit statistischen Tests, wie zum Beispiel dem Anderson-Darling-Test, zur Vermeidung von Fehlprognosen geprüft wer-

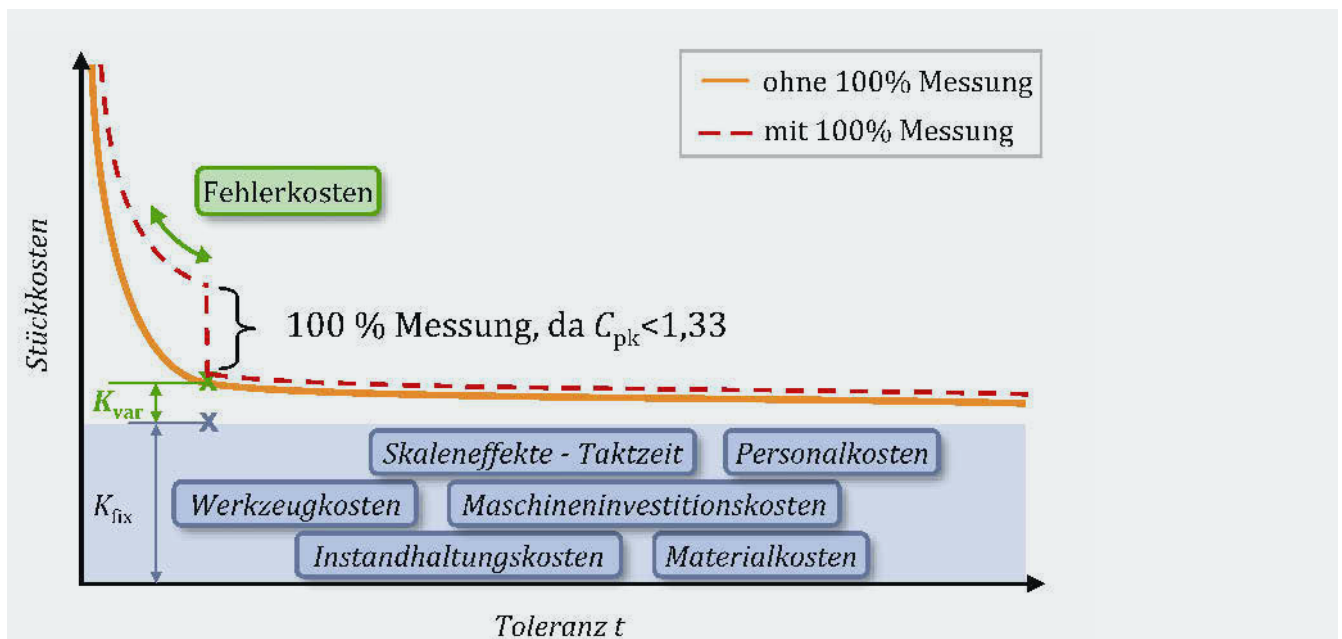


Bild 4 Erweiterung von Toleranz-Kosten-Kurven zur Berücksichtigung prozessfähigkeitsabhängiger Messkosten für ein Merkmal

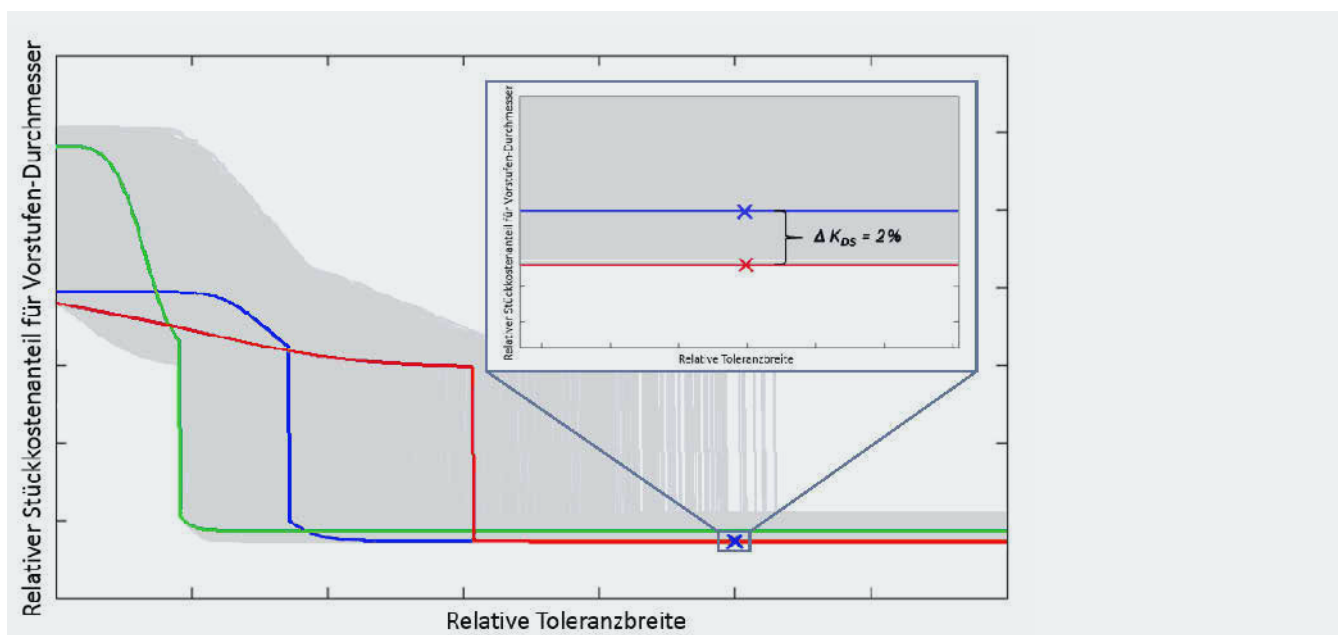


Bild 5 Erhebung einer Toleranz-Kosten-Kurvenschar als Überlagerung prozessparameterabhängiger Toleranz-Kosten-Kurven am Beispiel eines Hartbohrprozesses

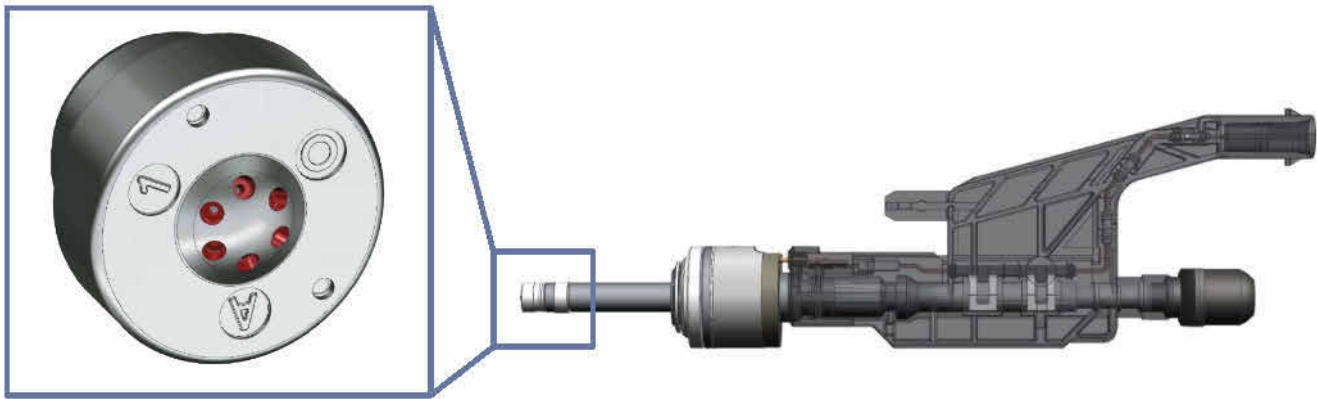


Bild 6 Hochdruckeinspritzventile in modernen Ottoverbrennungsmotoren

den. [8, 17] So kann beispielsweise die Normalverteilung zugrunde gelegt werden, um Standard- und Mittelwertabweichung als Funktion der eingestellten Prozessparameter zu ermitteln. Mit Hilfe dieser Kenngrößen kann anschließend die Ausschussrate, welche industriell üblich in ppm (parts-per-million) angegeben wird, wie folgt berechnet werden:

$$\text{Ausschuss} = 1 - \int_{UG}^{OG} f(x, \bar{p}) dx. \quad (2)$$

Als untere bzw. obere Grenze  $UG$  beziehungsweise  $OG$  können dabei die Regel- oder die Eingriffsgrenzen gesetzt werden. Die Festlegung, welche Maßnahmen bei Überschreitung dieser Grenzen erforderlich sind, sind dabei stets firmenspezifisch. Eine gängige Definition ist es, dass eine Überschreitung der Regelgrenze zu Stillstand des Fertigungsprozesses, eine Überschreitung der Eingriffsgrenze zusätzlich zu Ausschuss führt. Die variablen Kosten berechnen sich für eine eingestellte Prozessvariation als Summe der Stillstands- und Ausschusskosten  $K_{\text{Stillstand}}$  beziehungsweise  $K_{\text{Ausschuss}}$ :

$$K_{\text{var}} = K_{\text{Stillstand}} + K_{\text{Ausschuss}} \quad (3)$$

Liegt eine von der Normalverteilung abweichende Verteilungsart vor, so ist eine Betrachtung anderer spezifischer statistischer Momente notwendig.

#### Ermittlung der fixen Toleranzkosten $K_{\text{fix}}$

Ebenso wie die prozessbezogenen variablen Kosten  $K_{\text{var}}$  werden die prozessbezogenen fixen Toleranzkosten  $K_{\text{fix}}$  in Abhängigkeit der Prozessparameter berechnet. Hierbei setzt sich der Kostensockel  $K_{\text{fix}}$  aus den verschiedenen Anteilen der toleranzabhängigen Herstellkosten zusammen (siehe Bild 4):

$$K_{\text{fix}} = \frac{HK \left( K_{\text{Invest}}(\bar{p}) + K_{\text{Material}}(\bar{p}) + K_{\text{Werkzeug}}(\bar{p}) + K_{\text{Instandhaltung}}(\bar{p}) + K_{\text{Personal}}(\bar{p}) \right)}{x(\bar{p})}. \quad (4)$$

Hierzu zählen Maschineninvestitionskosten  $K_{\text{Invest}}$ , Materialkosten  $K_{\text{Material}}$ , Werkzeugkosten  $K_{\text{Werkzeug}}$ , Instandhaltungskosten  $K_{\text{Instandhaltung}}$  und Personalkosten  $K_{\text{Personal}}$ . An dieser Stelle zeigt sich die Prozessabhängigkeit der Herstellkosten  $HK$ . So korrelieren zum Beispiel die Werkzeugkosten proportional mit dem Vorschub oder der Drehzahl. Auf diese Weise lassen sich die Herstellkosten für die relevanten Prozessparameter auf Basis von funktionalen Zusammenhängen beschreiben. Da die Berechnung der einzelnen Kostenarten jedoch stark unternehmensabhängig ist, wird auf eine detaillierte Ausführung an dieser Stelle verzichtet.

Darüber hinaus müssen bei der Berechnung der fixen Toleranzkosten Skaleneffekte berücksichtigt werden. Der Skaleneffekt wird dabei in Abhängigkeit der Taktzeit  $T_{\text{Takt}}$  und der Produktionszeit  $T_{\text{Prod}}$  über die Stückzahl  $x$  bestimmt:

$$x = \frac{T_{\text{Prod}} \cdot OEE_p}{T_{\text{Takt}}}. \quad (5)$$

Hierbei wird der  $OEE$  um die technischen Verluste der Ausschuss-, Nacharbeits- und Stillstandskosten reduziert, da diese bereits in der Berechnung der variablen Kosten berücksichtigt werden. Der Skaleneffekt wird ebenfalls durch die Prozessparameter bestimmt. So führt zum Beispiel ein erhöhter Vorschub zu einer sinkenden Taktzeit, wodurch die Fixkosten  $K_{\text{fix}}$  steigen.

Abschließend ist zu beachten, dass der Betrag von  $K_{\text{fix}}$  für alle Merkmale gesamtheitlich ansteigt, sodass dieser auf jedes einzelne Merkmal aufgeteilt werden muss. Diese Aufteilung kann entweder gleichmäßig auf alle Merkmale oder gewichtet erfolgen. Letzteres ist dann entscheidend, wenn Prozessänderungen gezielt besondere Merkmale betreffen und merkmalspezifische Kostenbetrachtungen angestrebt werden.

### 4.3 Ableitung von Toleranz-Kosten-Kurvenscharen

Um die Zusammenhänge zwischen Prozessparametern, Toleranzen und Kosten herzustellen, sind mathematische Ersatzmodellen notwendig. Dabei hängt die Wahl des Verfahrens von der zugrundeliegenden Datenbasis ab. Während einfache Relationen durch lineare und polynominale Regressionsmodelle beschrieben werden können, erfordern komplexere Beziehungen höher entwickelte Verfahren, wie Gauß-Prozesse, Support Vector Machines oder künstliche neuronale Netze. Auf Basis dieser Ersatzmodelle, lassen sich für jede Prozessparameterkombination eine individuelle toleranzabhängige Toleranz-Kosten-Kurve ableiten. Bild 5 zeigt exemplarisch eine Schar an Kostenkurven für 10 000 Prozessparameterkombinationen, die jeweils die Zusammenhänge zwischen den resultierenden Toleranzwerten und den verursachten Kosten für das im Hartbohrprozess hergestellte Merkmal des Durchmessers abbilden. Auf Basis dieser Kurven lassen sich für jede mögliche Toleranzbreite des Merkmals die kostengünstigsten Prozessparametersätze ableiten. So kann zum Beispiel durch eine geschickte Wahl der Prozessparameter bei einer relativen Toleranzbreite von 1 eine Kosteneinsparung von 2 % erzielt werden (Bild 5).

Sind zum Beispiel Investitionsentscheidungen zu treffen, können diese als Entscheidungsgrundlage dienen, denn die Einstellung der Prozessparameter hängt unmittelbar mit der Fähigkeit der Maschine zusammen.

### 4.4 Aufstellung des Toleranz-Kosten-Modells

Liegt lediglich ein einzelnes funktionsrelevantes Merkmal vor, so kann aus der Schar an Toleranz-Kosten-Kurven eine Minimalkosten-Kurve abgeleitet werden, welche für jede Toleranz die optimale Prozesskombination angibt. Sind jedoch mehrere Merkmalstoleranzen funktionskritisch und sollen optimiert werden, so müssen alle Toleranzen und Prozesse in einem gesamten Toleranz-Kosten-Modell simultan betrachtet werden. Die Gesamtkosten berechnen sich dabei aus der Summe aller prozessbezogenen variablen und fixen Kostenanteile  $K_{\text{fix}}$  beziehungsweise  $K_{\text{var}}$  je Qualitätsmerkmal. Demnach müssen die prozessparameterabhängigen Toleranz-Kosten-Kurven für jedes relevante Einzelmerkmal erhoben werden und in einem Toleranz-Kosten-Modell zusammengefasst werden.

## 5 Anwendung bei der Robert Bosch GmbH

Als Folge steigenden Umweltbewusstseins und verschärften Gesetzesregelungen muss sich die Entwicklung von Einspritzventilen für Ottomotorverbrennungsmotoren der Herausforderung eines Grenzwerts der Partikelemission von  $6 \cdot 10^{10}$  Partikel stellen [20]. Die Partikelanzahl korreliert neben dem Brennraumdesign auch mit der Nennauslegung der Geometrielemente der Einspritzventile, wie zum Beispiel der Spritzlöcher, da diese die Sprayform des Kraftstoffes bestimmen. Folglich haben fertigungsbedingte Bauteilabweichungen einen wesentlichen Einfluss auf die Einhaltung der zulässigen Partikelemissionen. Die Form und Lage der in Bild 6 rot dargestellten Spritzlöcher unterliegen dabei geometrischen Anforderungen im  $\mu\text{m}$ -Bereich. Um die Funktionserfüllung gewährleisten und gleichzeitig die Kosten möglichst gering halten zu können, müssen die toleranzabhängigen Kosten der Fertigungsprozesse quantifiziert und für die Optimie-

rung in Form von Toleranz-Kosten-Kurven bereitgestellt werden. Die Firma Robert Bosch GmbH nutzt hierzu den in Kapitel 4 vorgestellten Ansatz, um die erforderlichen Kostenkurven für ausgewählte Geometriemerkmale des Hochdruckeinspritzventiles zu erheben. Hierzu sind am Standort Bamberg Fertigungsmaschinen mit mehr als 25 Stunden und opto-taktile Messmaschinen mit über 100 Stunden ausgelastet worden. Dabei ergab sich nachfolgende prozentuale Kostenverteilung: Personalaufwand 10 %, Fertigungsaufwand 30 %, Messaufwand 50 %, Werkzeugkosten 9 %, Teilekosten 1 %. Mithilfe des Ansatzes wurden anschließend Toleranz-Kosten-Kurven bestimmt, die sowohl die relevanten Aspekte der Serienfertigung berücksichtigen als auch die Zusammenhänge von Prozessparameter und Kosten geeignet abbilden. Diese dienen als Basis für die nachfolgende Toleranz-Kosten-Optimierung, für die ein gemeinsam vom Lehrstuhl für Konstruktionstechnik KTmfk der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und der Firma Robert Bosch GmbH entwickeltes Optimierungstool zum Einsatz kommt. Erste Optimierungsergebnisse zeigen, dass die Fertigungskosten der Einspritzventile bei gleichzeitiger Erfüllung der Partikelemissionsgrenzen wesentlich gesenkt werden können.

## 6 Zusammenfassung

Eine sorgfältige Wahl der Toleranzen ist für die Erfüllung geforderter Qualitätsmerkmale essenziell, beeinflusst jedoch zugleich die Fertigungskosten. Um sowohl den Kosten- als auch den Qualitätsaspekt bei der Tolerierung simultan zu berücksichtigen, hat sich die Methode der Toleranz-Kosten-Optimierung bewährt. Das Toleranz-Kosten-Modell, welches zur Bestimmung der toleranzabhängigen Kosten erforderlich ist, hat jedoch wesentlichen Einfluss auf das Optimierungsergebnis. Um eine realitätsnahe Kostenmodellierung zu ermöglichen, ist es zweckmäßig, bisherige Modelle auf die Serienfertigung auszuweiten. Durch die Berücksichtigung von Prozessparametern und die Erweiterung toleranzabhängiger Kosten um die Absicherung durch 100 %-Messung der Erzeugnisse wird die Eignung für die Serienfertigung hergestellt. Das Beispiel eines Hochdruckeinspritzventils stellt dabei die Praxistauglichkeit des vorgestellten Ansatzes unter Beweis.



**Kai Brückner** M.Sc.  
**Markus Storch** M.Sc.  
beide:  
Robert Bosch GmbH,  
Robert-Bosch-Straße 40, 96050 Bamberg

**Martin Hallmann** M.Sc.  
**Björn Heling** M.Sc.  
Dr.-Ing. **Benjamin Schleich**  
Prof. Dr.-Ing. **Sandro Wartack**  
alle:  
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik KTmfk  
FAU Erlangen-Nürnberg, Martensstr. 9, 91058 Erlangen  
Tel: 0 9131 / 85 27987  
E-Mail: wartack@mfk.fau.de  
www.mfk.tf.fau.de

### Literatur

- [1] Mannewitz, F.: Komplexe Toleranzanalysen einfach durchführen. Konstruktion Bd. 7/8 (2004), S. 69–74
- [2] Schleich, B.; Wartack, S.: Skin Model Shapes: ein neuer Ansatz zur Toleranzsimulation auf Basis von Punktwolken und Oberflächennetzen. Konstruktion Bd. 69 (2017), S. 86–90



- [3] Walter, M. S. J.; Spruegel, T. C.; Wartzack, S.: Tolerance-Cost-Optimization of Systems with time-variant Deviations. In: Jianrong, T. (Hrsg.): Proceedings of the 13th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing, 11.5.–14.5.2014, Hangzhou
- [4] Wartzack, S.; Meerkamm, H.; et al.: Lebenszyklusorientierte Toleranzsimulation zur funktionalen und ästhetischen Produktabsicherung. Konstruktion Bd. 6 (2011), S. 63–67
- [5] Wartzack, S.; Walter, M. S. J.; Schleich, B.: So eng wie nötig, so breit wie möglich. In: Konstruktionspraxis (2013), S. 14–16
- [6] Singh, P. K.; Jain, P. K.; Jain, S. C.: Important issues in tolerance design of mechanical assemblies. Part 2: Tolerance synthesis. Proc Inst Mech Eng B J Eng Manuf 223 (2009), Nr. 10, S. 1249–1287
- [7] Schleich, B.; Wartzack, S.: How to determine the influence of geometric deviations on elastic deformations and the structural performance? Proc Inst Mech Eng B J Eng Manuf 227 (2013), Nr. 5, S. 754–764
- [8] Hallmann, M.; Schleich, B.; Helling, B.; Aschenbrenner, A.; Wartzack, S.: Comparison of different methods for scrap rate estimation in sampling-based tolerance cost-optimization. Procedia CIRP 75, S. 51–56
- [9] Cagan, J.; Kurfess, T.: Optimal design for tolerance and manufacturing allocation, Carnegie Mellon University, 1991
- [10] Yeo, S. H.; Ngoi, B. K. A.; Chen H.: A Cost-Tolerance Model for Process Sequence Optimisation. Int. J. Adv. Manuf. Technol Bd. 12 (1996), Nr. 6, S. 423–431
- [11] Eversheim, W. (Hrsg.); Schuh, G. (Hrsg.): Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung. Berlin: Springer, 2005
- [12] Dimitrellou, S. Ch; Diplaris, S. C.; Sfantsikopoulos M. M.: Cost-competent tolerancing in CAD. Int. J. Adv. Manuf. Technol Bd. 25 (2007), Nr. 5–6, S. 519–526
- [13] Sanz-Lobera, A.; Gómez, E.; Pérez, J.; Sevilla, L.: A proposal of cost-tolerance models directly collected from the manufacturing process. Int J Prod Res Bd. 54 (2016), Nr. 15, S. 4584–4598
- [14] Wang, Y.; Li, L.; Hartman N.W.; Sutherland, J.W.: Allocation of assembly tolerances to minimize costs. CIRP Annals Bd. 68 (2019), S. 13–16
- [15] DIN ISO 22514-2: Statistische Verfahren im Prozessmanagement – Fähigkeit und Leistung – Teil 2: Prozessleistungs- und Prozessfähigkeitskenngrößen von zeitabhängigen Prozessmodellen (ISO 22514-2:2017), Beuth, Berlin
- [16] Qualitätsmanagement in der Bosch-Gruppe: Maschinen- und Prozessfähigkeit, Bosch Schriftenreihe Heft 10, Ausgabe 05.2010.
- [17] Schulze, A.; Dietrich, E.: Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation. München: Hanser, 2009
- [18] Kubiak, T. M.; Benbow, D. W.: The Certified Six Sigma Black Belt Handbook: Second Edition. Milwaukee: ASQ Quality Press, 2009
- [19] Macha, R.: Grundlagen der Kosten- und Leistungsrechnung. München: Vahlen, 2011
- [20] C/2016/1792: Verordnung (EU) 2016/646 der Kommission vom 20. April 2016 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 6). Abrufbar über: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8786a9a0-0b74-11e6-b713-01aa75ed71a1/>

## Fraunhofer identifiziert 51 Zukunftsthemen für die angewandte Forschung

Die Fraunhofer-Gesellschaft hat im Rahmen eines „Foresight“-Prozesses einen systematischen Blick in die Zukunft geworfen, um aus potenziellen Technologien sowie gesellschaftlichen Herausforderungen strategisches Orientierungswissen abzuleiten und gleichzeitig eine Weiterentwicklung der Foresight-Methoden zu fördern. Eine Besonderheit an diesem Projekt ist neben dem systematischen, sehr breiten Scanning von Zukunftsthemen die umfassende Nutzung der Fraunhofer-Expertise über alle 72 Forschungsinstitute hinweg. Damit ist sie deutlich umfangreicher als bei vorausgegangenen Foresight-Prozessen.

Es wurden 51 Themen mit großer Relevanz für die angewandte Forschung im Jahr 2030 identifiziert. Diese 51 Themen wurden zunächst durch eine umfangreiche Recherche von internationalen Foresight-Studien ausgewählt und analysiert.

Anschließend haben sie knapp 400 Fraunhofer-Experten hinsichtlich ihrer Relevanz für die Zukunft von Forschung, Wirtschaft und Gesellschaft bewertet. Die Ergebnisse haben 20 nationale und internationale Experten aus Wissenschaft und Industrie in einem Review-Prozess durch Interviews bestätigt.

Ausgehend von den Befragungsergebnissen wurden Themen identifiziert, die grundlegende Veränderungen mit sich

bringen werden und daher besondere Aufmerksamkeit erfordern. Zu diesen Themen zählen beispielsweise Deep Learning – AI, Re-Economy und die Nutzung und Erhaltung von Biodiversität.

Darüber hinaus wurden Themen erkannt, von denen eine besonders hohe Innovationsdynamik ausgeht. Einige dieser Themen, wie etwa Biohybrid, Water Harvesting Membrans und pHealth, sind schon heute für die angewandte Forschung sehr relevant, während andere bislang eher Nischenthemen sind, die sich aber dynamisch entwickeln und daher bald auf ein breiteres Interesse stoßen könnten. Viele Themen aus dieser Gruppe haben einen Bezug zur Mikroelektronik, wie Neuro-morphic Chip oder Quantum 7 Communication. Außerdem identifizierte die Studie eine weitere Themengruppe mit besonderer gesellschaftlicher Relevanz. Zu diesen zum Teil sehr kontrovers diskutierten Themen gehören etwa Geoengineering, Civic Technologies und Reprogramming of Human Cells. Weitere Erkenntnisse hinsichtlich der perspektivischen Entwicklung der ausgewählten 51 Themen lassen sich auf Basis der Befragungsergebnisse wie folgt ableiten:

– Zahlreiche Themen mit sehr breiter Auswirkung auf ganz unterschiedliche

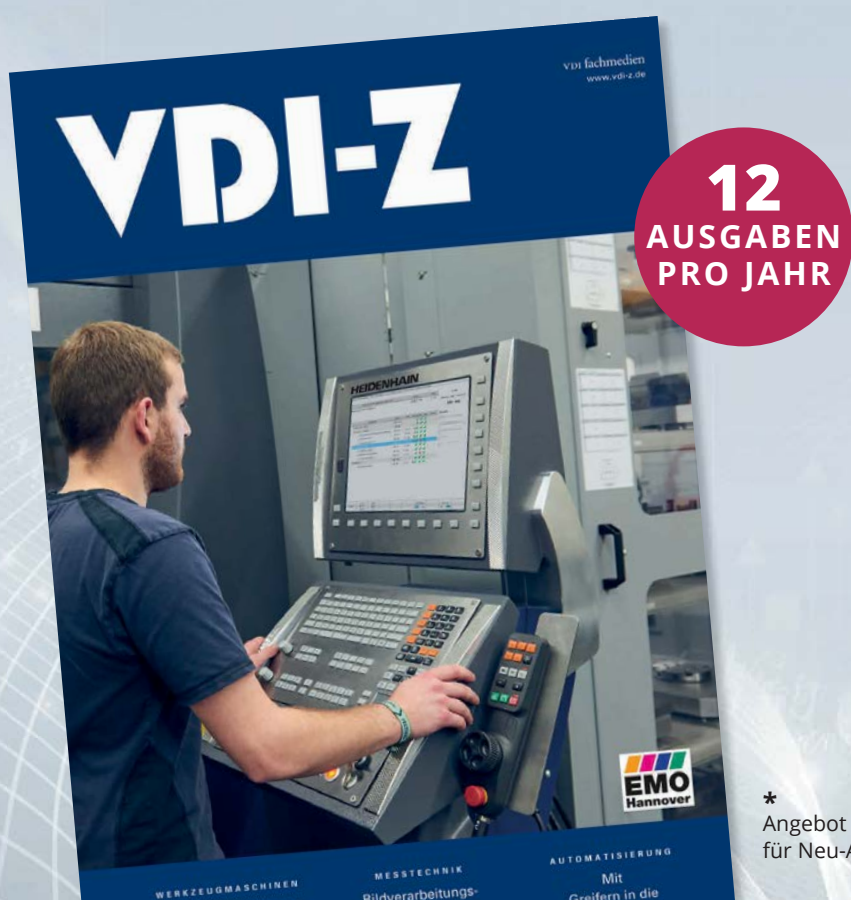
Forschungs- und Wirtschaftsbereiche könnten sich zu Schlüsseltechnologien entwickeln.

- Themen mit konvergierenden Technologien könnten die Grenzen zwischen den Forschungsbereichen auflösen und damit die immer noch vorwiegend disziplinäre Prägung der Wissenschaften entscheidend verändern.
- Themen mit weitreichenden, teilweise kontrovers diskutierten Auswirkungen auf Gesellschaft und Umwelt könnten den Bedarf nach Governance-Prozessen und gesellschaftlicher Einbindung bei der Entwicklung und Einführung neuer Technologien deutlich erhöhen.

Der Foresight-Prozess wurde als breiter Blick in die Zukunft angelegt, der insbesondere emergente Technologien betrachtet, aber auch gesellschaftliche Entwicklungen und die Verbindungen zwischen den fachlichen Gegenstandsbereichen (Technik, Wirtschaft und Gesellschaft) aufzeigt. Die Ergebnisse bilden eine fundierte Wissensbasis für eine Zukunftsorientierung und zahlreiche Anknüpfungspunkte für weitere Projekte mit spezifischen Fragestellungen mit den Kooperationspartnern aus Wirtschaft, Politik und öffentlicher Hand.

Unter folgender Adresse steht die Studie zum Download bereit: <https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/forschung/Sonstiges/Foresight-Fraunhofer.pdf>

Jetzt VDI-Z\*  
abonnieren,  
**20 % RABATT**  
bekommen.



\*  
Angebot nur gültig  
für Neu-Abonnenten

**Sie wollen sich praxisnah über den gesamten Produktionsprozess und die Verbindung der Fertigungstechnologien mit vor- und nachgelagerten Bereichen informieren?**

Dann abonnieren Sie als Leser der Zeitschrift Konstruktion jetzt VDI-Z\*, die renommierte Fachzeitschrift für Integrierte Produktion. Auf das Jahres-Abo erhalten Sie im ersten Jahr 20 % Rabatt – **statt 238 EUR zahlen Sie nur 190,40 EUR** zzgl. 14,50 EUR Versandkosten innerhalb Deutschlands!

**Jetzt abonnieren!**

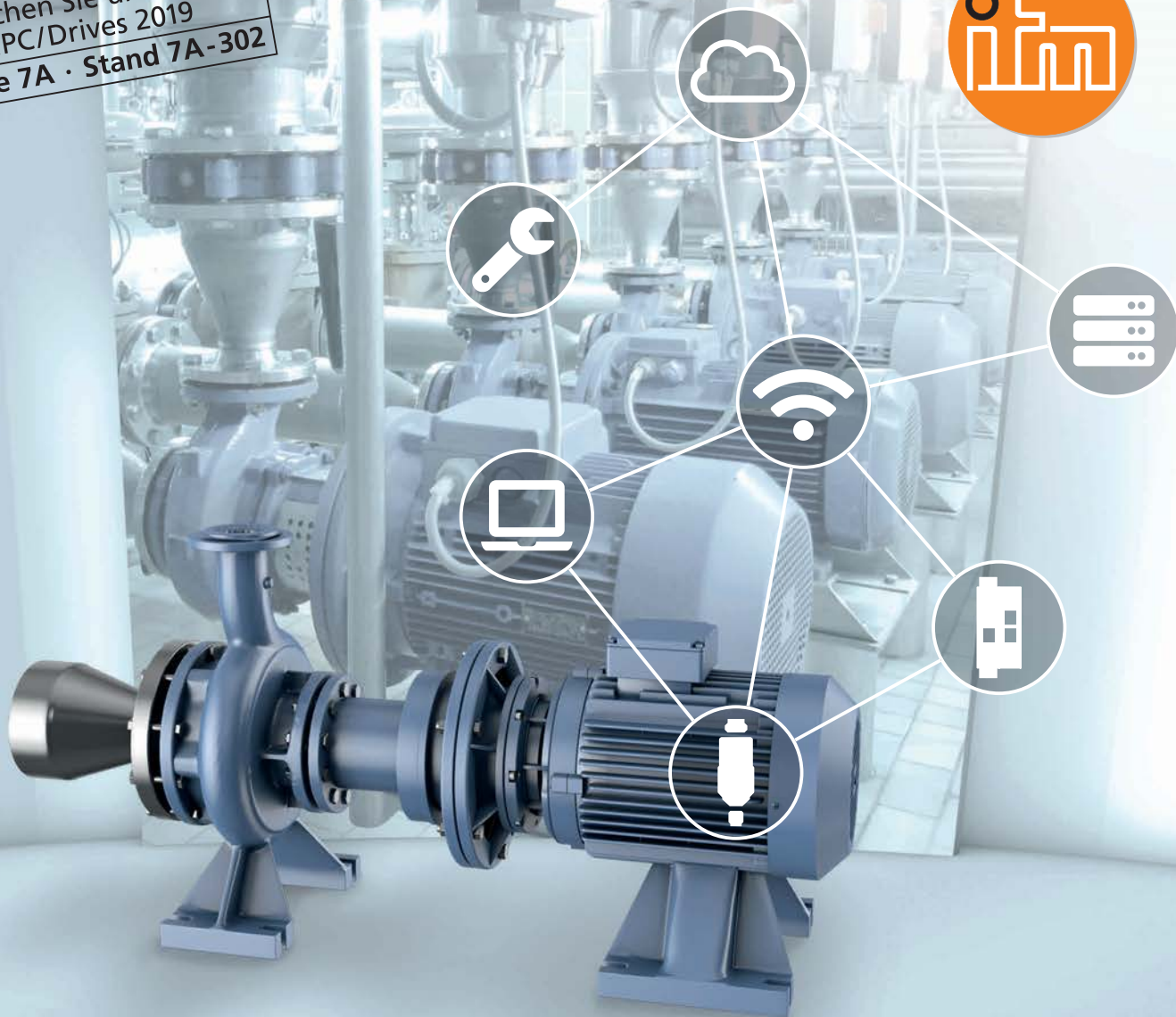
**VDI Fachmedien GmbH & Co. KG, Leserservice, 65341 Eltville**

**Telefon: +49 6123 9238-202, Telefax: +49 6123 9238-244, [vdi-fachmedien@vuservice.de](mailto:vdi-fachmedien@vuservice.de)**

**TECHNIKWISSEN FÜR INGENIEURE.**  
**[www.vdi-fachmedien.de](http://www.vdi-fachmedien.de)**

**vdi fachmedien**

Besuchen Sie uns auf der  
SPS/IPC/Drives 2019  
Halle 7A · Stand 7A-302



## Rundumschutz für Ihre Pumpen mit dem ifm Application Package.



### Prozesse überwachen und zustandsorientiert instandhalten

Diese Komplettlösung macht Ihre Pumpen fit für Industrie 4.0.

- **Früherkennung:** Überwachung von Unwucht, Verschleiß und Gesamtschwingung.
- **Maximale Effizienz:** Permanente Diagnose von Druck und Strömung auf Über- und Unterschreitung.
- **Kontinuierliche Diagnose:** Tatsächliche Betriebsstunden werden erfasst.
- **Einfache Integration:** Individuelle Lösungen passend für unterschiedlichste Pumpentypen.

Kosten senken, Stillstände vermeiden, Prozesse optimieren: Die ifm Application Packages!  
ifm – close to you!



Go ifmonline  
[pumpen.ifm](http://pumpen.ifm)

50<sup>th</sup>  
ifm anniversary  
experience in automation.