

Konstruktion

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

Sonderteil
Mess- und Sensor-
technik



TITELTHEMA: MASCHINENELEMENTE

BEREIT FÜR DIE PRAXIS

Feldversuche zur Leistungsfähigkeit von Ethernet-APL

ZUKÜNFTIGER ENERGIETRÄGER

Zertifizierbarer Prüfstandard für die H₂-Beständigkeit von Werkstoffen und Komponenten

KUNSTSTOFF

Rezyklate und nachwachsende Rohstoffe für den Automobilbau

Jetzt auf Teamlizenz umstellen und profitieren!

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



LIZENZ: VDI NACHRICHTEN PLUS (Vn+) UND E-PAPER | AB 01/2024

Ihre Vorteile:

- Alle Beiträge auf vdi-nachrichten.com
- Wöchentlicher News-Alert – Auswahl der wichtigsten VDI nachrichten-Beiträge
- Alle 14 Tage als Print oder E-Paper (E-Paper donnerstags ab 20:00 Uhr/Zeitung freitags)
- Volltextsuche über das Archiv ab 2005

Ihre Zugänge:

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

ANZAHL NUTZER*INNEN	REGULÄRE PREISE	RABATTIERTE PREISE **
1	117,00	-
2-5	210,60	147,42
6-10	379,08	265,36
11-50	682,34	477,64
> 50-500 (über 500 Nutzer*innen auf Anfrage)	1.228,22	859,75



** 30% Rabatt gültig auf den regulären Jahresabonnementspreis. Angebot gilt ab 2 Nutzer*innen. Angebot nur gültig für das erste Jahr sowie nur für Neu-Abonnent*innen.

Alle Preisangaben brutto und in EUR. Preisänderungen vorbehalten.

Kündigungsbedingungen:

Der Bezugszeitraum beträgt mindestens ein Jahr.

Die Lizenz verlängert sich um ein weiteres Jahr, wenn sie nicht vier Wochen vor Ablauf des berechneten Bezugszeitraumes schriftlich gekündigt wird.

Stand: Dezember 2023 | VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, AG Düsseldorf HRB 1080, Geschäftsführer: Ken Fouhy

Ihr Kontakt

Leser-Service VDI nachrichten

65341 Eltville

Telefon: +49 6123 9238-201

Telefax: +49 6123 9238-244

vdi-nachrichten@vuservice.de

VDI nachrichten
TECHNIK IN SZENE GESETZT.

Sensorik: Trends & Zukunft

Die Sensorik ist ein zentraler Bestandteil der modernen Industrie und spielt eine entscheidende Rolle bei der Erfassung und Analyse von Daten in einer Vielzahl von Anwendungen. Das Einsatzspektrum reicht von der Überwachung industrieller Prozesse bis hin zur Optimierung von Produkten und Dienstleistungen. In diesem Artikel werfen wir einen kurzen Blick auf die Innovationen und die zukünftigen Entwicklungen in der Sensorik und wie diese die Industrie weiter transformieren werden.

- Die treibende Kraft hinter innovativer Sensorik

Der kontinuierliche technologische Fortschritt ist die treibende Kraft hinter den Innovationen in der Sensorik. Die Konzepte von Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge haben eine neue Ära der Vernetzung und Automatisierung eingeleitet, die eine hohe und weiter steigende Nachfrage nach innovativen Sensorlösungen ausgelöst hat. Unternehmen sind zunehmend bestrebt ihre Produktionsprozesse zu optimieren und datenbasierte Entscheidungen zu treffen, was die Entwicklung hochgenauer, miniaturisierter und kostengünstiger Sensoren weiter vorantreibt.

- Aktuelle Trends und Innovationen

Die Miniaturisierung von Sensoren ist weiterhin ein wesentlicher Trend, der hochintegrierte und intelligente Systeme in einem breiten Anwendungsfeld erst möglich macht. Dies betrifft auch die Miniaturisierung analytischer Messsysteme zum Überwachen komplexer Prozesse. Die Integration von Künstlicher Intelligenz erlaubt dabei eine intelligente Datenauswertung und das Erkennen von relevanten Merkmalen für eine fundierte Entscheidung.

Die Zukunft der Sensorik liegt daher in einer noch tieferen Integration in allen Bereichen der Industrie. Mit Edge Computing und fortschrittlichen Analysetech-

niken werden Sensoren nicht nur Daten sammeln, sondern diese Daten auch vor Ort analysieren und neue Erkenntnisse generieren, die zu einer weiteren Verbesserung von Prozessen und Produkten führen und die Grundlage für eine noch effizientere, nachhaltigere und intelligentere Industrie schaffen.

Eine andere, vielversprechende Entwicklung ist der Einsatz multifunktionaler Sensoren und miniaturisierter analytischer Messsysteme, die viele Parameter gleichzeitig erfassen können. Dies ermöglicht eine ganzheitliche Überwachung von Systemen und Prozessen und führt zu einer

„Die Zukunft der Industrie liegt in der Integration von Sensorik und Messtechnik – eine Evolution, die von kontinuierlicher Innovation und Zusammenarbeit geprägt ist.“

verbesserten Effizienz, Nachhaltigkeit und Sicherheit. Darüber hinaus wird die Kombination von Sensorik und anderen Technologien, wie Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR), ganz neue Anwendungsmöglichkeiten eröffnen, wie immersive Schulungen und virtuelle Wartung.

- Herausforderungen und Chancen

Trotz des enormen Potenzials der Sensorik stehen auch einige Herausforderungen auf der Agenda. Datenschutz und Datensicherheit sind weiterhin wichtige Themen, insbesondere durch die immer größere Menge an gesammelten Daten

und die Vernetzung der Sensoren. So ist es schon jetzt von entscheidender Bedeutung, robuste Lösungen bezüglich der Datensicherheit zu implementieren, um die Integrität und Vertraulichkeit der Daten zu gewährleisten.

Aus diesen Herausforderungen erwachsen Chancen für weiteres Wachstum und Innovation. Unternehmen, die in der Lage sind, solche Lösungen für Datenschutz und Datensicherheit anzubieten, werden zukünftig einen Wettbewerbsvorteil haben. Darüber hinaus wird die zunehmende Integration von Sensorik in neue Anwendungen und Märkte zu einer weiteren Expansion des Sensormarktes führen und neue Geschäftsmöglichkeiten eröffnen.

Die Sensorik ist und bleibt ein Schlüsselement für die Weiterentwicklung der Industrie und wird eine zentrale Rolle bei zukünftigen technologischen Innovationen spielen. Durch kontinuierliche Forschung und Entwicklung sowie die Integration mit anderen innovativen Technologien wird die Sensorik weiterhin dazu beitragen, die Effizienz, Produktivität und Sicherheit in einer Vielzahl von Anwendungen zu verbessern und somit die Grundlage für eine intelligente, vernetzte und nachhaltige Zukunft zu schaffen. Es liegt an den Unternehmen und Forschungseinrichtungen, diese Potenziale zu erschließen und die Zukunft der Sensorik und Messtechnik gemeinsam aktiv mitzugestalten. ■

Professor Dr.-Ing.
Stefan Zimmermann
Vorsitzender des
AMA Wissenschaftsrates
Leiter des Instituts
für Grundlagen der
Elektro- und Messtechnik
Leibniz Universität
Hannover, 30167 Hannover
zimmermann@geml.uni-hannover.de
Foto: André Ahrens





Sensorik Weg- und Positionssensoren für Anwendungen in der Automatisierung und an Prüfständen. Foto: Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG



Die Lackierung von Komponenten aus Kunststoffrecykatl bereitet aufgrund der Qualitätsschwankungen oft Probleme. Foto: PantherMedia / XXLPhoto

Editorial

3 STEFAN ZIMMERMANN Sensorik: Trends & Zukunft

Aktuelles

- 6** Dassault Systèmes und Pepperl+Fuchs kooperieren
- 6** US-Wirtschaft investiert in Industrie-Roboter
- 7** Sick wächst und setzt auf softwarebasierte Sensorlösungen mit KI
- 7** Bachmann electronic steigert Umsatz auf 104 Mio. Euro
- 8** Lapp: größte Einzelinvestition in der Geschichte
- 9** KI-gesteuerte Roboter: Plattform zeigt Potenzial und Grenzen
- 9** Zertifizierbarkeit von grünem Wasserstoff digital überprüfen
- 10** VDI-GPP Nachrichten aus der VDI-Fachgesellschaft VDI-GPP

Maschinenelemente

12 TITEL Stufen-Modell zur Auswahl des passenden Wälzlagers

- 16** VERPACKUNGSMASCHINEN Magnetkupplungen sorgen für reibungslosen Betrieb
- 19** SIMULATION Industriestoßdämpfer als digitale Zwillinge

Automatisierung

22 KOMMUNIKATION Ethernet-APL: Bereit für die Praxis

Sonderteil Mess- und Sensortechnik

- 26** SENSORIK Präzisionsmessungen mit induktiven Tastern
- 30** PRÜFSTANDARD Werkstoffe und Komponenten für einen sicheren Einsatz mit Wasserstoff
- 34** KRYOTECHNIK Faserinstitut Bremen untersucht Einfluss von Wasserstoff auf Luftfahrtmaterialien
- 37** 100%-KONTROLLE Batterietest- und Messmodule für die Automatisierung

Digitalisierung

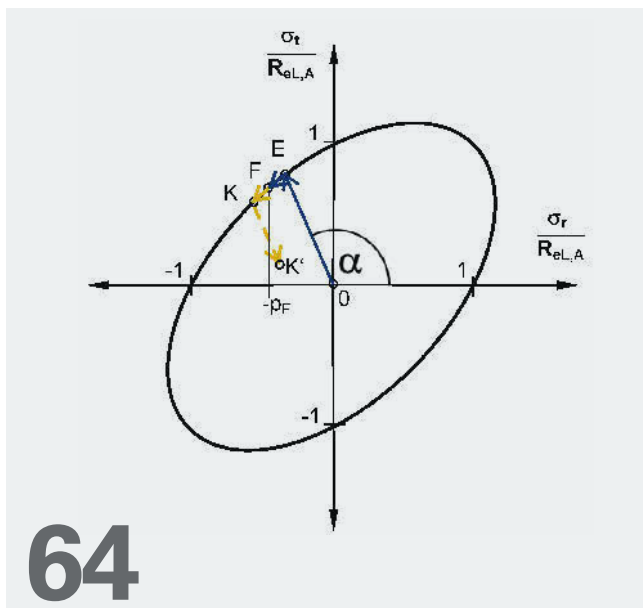
61 CPS Zentrale Management-Plattform führt CPS-Sicherheitsprodukte zusammen

Fachteil Ingenieur-Werkstoffe

- IW2** Charakterisierung der Lackierfähigkeit von Kunststoffrecyklaten
Annedore Bose-Munde
- IW4** Recyklate und nachwachsende Rohstoffe für den Automobilbau
Annedore Bose-Munde
- IW8** Neuer Verbundwerkstoff erlaubt CO₂-negatives Bauen
- IW9** Flammenschutz mit Umweltvorteilen
- IW10** Neue Recycling-Technologie für europäisches Aluminium
- IW12** Wenn 3D-gedruckte Pilze Musik machen
- IW14** Sensortechnik smart verklebt
- IW16** Kleber für ein cleveres Kühlkonzept

WiGeP

62 ZERTIFIZIERUNGSGERECHTE ENTWICKLUNG Effiziente, virtuelle Entwicklung individueller Medizinprodukte



64

Verbindungstechnik In dem Beitrag wird eine neue Methode zur Auslegung rein elastischer Pressverbände vorgestellt. *Grafik: Verfasser*

Forschung, Wissenschaft, Innovation

64 VERBINDUNGSTECHNIK

Mario Schierz, Erhard Leidich, Masoud Ziaei, Alexander Hasse
Plastische Konditionierung zur Erhöhung des Volumennutzwertes bei kraftschlüssig gefügten Welle-Nabe-Verbindungen *
(DOI 10.37544/0720-5953-2024-05-66)

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.

71 Forschung und Technik aktuell

Rubriken

8 Impressum

33 Vorschau

40 bis 44 Neue Produkte

Wälzlagerdimensionierung

Bei Findling findet der Anwender mehr als Wälz- und Gleitlager. Erfahrene Ingenieure und Techniker unterstützen den Kunden bei der Planung und Konstruktion, helfen bei der Auswahl des passenden Wälzlagers und begleiten durch alle Entwicklungsschritte des Projekts. Darüber hinaus kann das Unternehmen über sein globales Lieferanten-Netzwerk immer das technisch und wirtschaftlich richtige Produkt zeitnah zur Verfügung stellen und auch Sonderwünsche erfüllen.

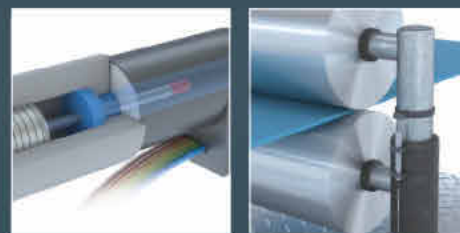
Weitere Informationen: www.findling.com



Mehr Präzision. Induktive Wegsensoren (LVDT) und Messtaster

induSENSOR

- Mehr als 250 verschiedene Sensoren mit Messbereichen von 1 - 630 mm
- Hohe Genauigkeit
- Ideal für Maschinenbau und OEM-Serien
- Standardisierte und kundenspezifische Sensorbauformen, auch zur Integration im Hydraulikzylinder
- Flexibel im Einbau durch speziell entwickelte Messverfahren mit Stößel, Messring, Hülse und Taster



Ideal zur Integration in Maschinen und Anlagen



induSENSOR MSC7x0x
Mehrkanal-Controller mit Feldbusanbindung

Kontaktieren Sie unsere
Applikationsingenieure:
Tel. +49 8542 1680

micro-epsilon.de/LVDT

Dassault Systèmes und Pepperl+Fuchs kooperieren

Dassault Systèmes hat eine Partnerschaft mit Pepperl+Fuchs bekanntgegeben. Ziel der Zusammenarbeit sei es, die Herausforderungen, vor denen die Automatisierungsbranche in den kommenden Jahren stehen wird, gemeinsam zu bewältigen und innovative Lösungen zu entwickeln.

Pepperl+Fuchs setzt den Angaben zufolge die 3D-Experience Plattform von Dassault Systèmes ein, um sein Product Lifecycle Management sowie das Product Portfolio Management kontinuierlich zu optimieren.

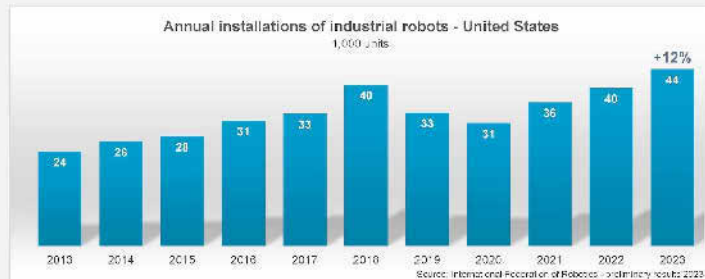
Darüber hinaus werde der Mannheimer Mittelständler als eines von wenigen Unternehmen europaweit in engem Austausch mit der Research & Development-Abteilung von Dassault Systèmes stehen. In diesem Rahmen werden die beiden Partner gemeinsam an Geschäftsmodellen für die digitale Wirtschaft arbeiten.

Pepperl+Fuchs leiste zudem einen Beitrag zur internationalen Initiative Manufacturing-X. Das Ziel sei es, eine digital vernetzte Industrie zu schaffen.

www.3ds.com/de

United States growing +12% on record level

IFR
International
Federation of
Robotics



Vorläufige Ergebnisse der International Federation of Robotics (IFR). Die endgültigen Ergebnisse der neuen World Robotics-Daten werden im September 2024 veröffentlicht. *Grafik: IFR*

US - WIRTSCHAFT INVESTIERT IN INDUSTRIE-ROBOTER

Die verarbeitende Industrie in den Vereinigten Staaten investiert verstärkt in Automation: Die Zahl der Installationen stieg 2023 auf insgesamt 44.303 Einheiten – ein Plus von 12% im Vergleich zum Vorjahr. Spitzenreiter ist die Automobilindustrie, gefolgt von der Elektro- und Elektronikbranche. Dies sind vorläufige Ergebnisse der International Federation of Robotics (IFR).

„Der Fertigungssektor in den USA zählt zu den fortschrittlichsten weltweit“, sagt Marina Bill, Präsidentin der IFR. „Unser IFR-Ausblick mit den ersten vorläufigen Ergebnissen für das Jahr 2023 zeigt erneut eine starke Roboternachfrage in allen wichtigen Segmenten der US-Produktion.“

Die Verkäufe in der Automobilindustrie stiegen den Angaben zufolge im Jahr 2023 auf einen Rekord von 14.678 installierten Robotern – ein Plus von 1%. Bereits im Jahr davor verzeichnete das Segment eine starke Konjunktur: Die Installationen stiegen 2022 sprunghaft um 47% auf 14.472 Einheiten. Die Automobil- und Komponentenhersteller kommen 2023 auf einen Marktanteil von 33% der installierten Industrieroboter. Im internationalen Vergleich rangiert das Produktionsvolumen von Autos und leichten Fahrzeugen in den USA hinter China auf dem zweiten Platz weltweit. „Die Automobilhersteller investieren derzeit verstärkt in Robotik, um auf die Produktion von Elektrofahrzeugen umzustellen sowie einen Mangel an Arbeitskräften zu kompensieren“, so Bill.

Die Installationen in der Elektro- und Elektronikindustrie stiegen 2023 um 37% auf 5.120 Einheiten. Das jüngste Ergebnis entspricht einem Marktanteil von 12% der installierten Industrieroboter und erreicht fast das Rekordniveau von der Zeit vor der Pandemie: 2018 wurden 5.284 Einheiten installiert. In diesem Segment wird die Nachfrage nach Industrierobotern entscheidend durch den Trend zur Stärkung der heimischen Lieferketten und durch Projekte beeinflusst, die die Energiewende vorantreiben. Die Anzahl der Installationen in anderen Branchen, die die 3.000-Einheiten-Marke in den USA überschreiten, ist: Metall- und Maschinenbau (4.123 Einheiten, +6%) sowie Kunststoff- und Chemieprodukte (3.213 Einheiten, +5%). Sie repräsentieren einen Marktanteil von 9% beziehungsweise 7% der Industrieroboterinstallationen im Jahr 2023.

In Kanada installierte das produzierende Gewerbe im Jahr 2023 insgesamt 4.616 Industrieroboter – das ist ein Anstieg um 43%. Auf die Automobilindustrie entfällt ein Marktanteil von 55%. Mit 2.549 installierten Einheiten stieg der Absatz in der Automobilbranche 2023 um 99% und erreicht damit ein Allzeithoch.

Die Roboterinstallationen in der verarbeitenden Industrie Mexikos bleiben mit 5.868 Einheiten im Jahr 2023 nahezu unverändert. Hauptabnehmer ist die Automobilindustrie, auf die 69% der Roboterinstallationen im Jahr 2023 entfallen: der Absatz erreichte 2023 insgesamt 4.068 Einheiten (±0%) – das drittbeste Ergebnis seit dem Spitzenwert von 4.805 Einheiten im Jahr 2017. www.ifr.org

Sick wächst und setzt auf softwarebasierte Sensorlösungen mit KI

Das Sensorunternehmen Sick mit Hauptsitz in Waldkirch hat nach eigenen Angaben seinen Wachstumskurs in einem herausfordernden Geschäftsjahr 2023 fortgesetzt. Der Umsatz ist um 5,4% auf 2.307 Mio. Euro gestiegen. Um Währungskurseffekte bereinigt stieg der Umsatz sogar um 8,8% im Vergleich zum Vorjahr. Die gesamte Finanz- und Ertragslage entwickelte sich positiv. Das Unternehmen investierte im vergangenen Geschäftsjahr 11,7% des Umsatzes in seine Forschung und Entwicklung. Allein 70 Patentanmeldungen für software- und KI-basierte Automationslösungen habe das Unternehmen 2023 eingereicht und seine Sensorintelligenz weiterentwickelt. Insgesamt 12.185 Beschäftigte sind für Sick weltweit tätig.

Im Geschäftsjahr 2023 konnte Sick in den drei Geschäftsfeldern Fabrik-, Prozess- und Logistikautomation Umsatzsteigerungen verzeichnen, wobei die Fabrikautomation mit 6,9% auf 1.185 Mio. Euro das stärkste Wachstum zeigte. Die Prozessautomation wuchs um 5,8% auf 348 Mio. Euro Umsatz. Die Logistikautomation zeigte nach den Rekordjahren der Coronapandemie und hohen Zuwächsen im E-Commerce weiterhin ein solides Wachstum von 2,8% auf 747 Mio. Euro. Das Geschäftsjahr 2023 wurde, so das Unternehmen weiter, bestimmt durch die Ausweitung geopolitischer Konflikte, eine nachlassende Dynamik in der Weltwirtschaft, erschwerte Finanzierungsbedingungen mit hohen Inflationsraten und Leitzinsen und einer dadurch bedingten Investitionszurückhaltung.

„Wir haben Umsatz sowie Gewinn gesteigert und sind stolz auf diese Leistung in einem anspruchsvollen Jahr“, sagte Dr. Mats Gökstorp, Vorstandsvorsitzender der Sick AG. www.sick.de



Dr. Mats Gökstorp, Vorstandsvorsitzender der Sick AG: „Wir haben Umsatz sowie Gewinn gesteigert und sind stolz auf diese Leistung in einem anspruchsvollen Jahr.“ Foto: Sick AG

Bachmann electronic steigert Umsatz auf 104 Mio. Euro

Bachmann electronic hat nach eigenen Angaben im Jahr 2023 einen Umsatz von 104 Mio. Euro erzielt, was einem moderaten Anstieg im Vergleich zum Vorjahr (102 Mio. Euro) entspricht. Das gab der Automatisierungsspezialist im Rahmen seines Jahresabschlusses jetzt bekannt.

Trotz des für Bachmann erfolgreichen Jahres ist CEO Bernhard Zangerl jedoch nicht vollends zufrieden: „Ein Wermutstropfen ist und bleibt unsere sozialpolitische Zwangsjacke“, so Bernhard Zangerl, „Durch immer mehr diktierte Regularien und höhere Steuerlasten ist es für Unternehmen immer schwieriger im internationalen Wettbewerb zu brillieren“, appelliert der Manager für eine Politik, die den Unternehmen mehr Freiräume bietet.

Die Investitionen in Forschung & Entwicklung beliefen sich im Jahr 2023 auf einen zweistelligen Millionenbetrag, umfangreiche Expansionspläne gibt es unter anderem durch den Ausbau der Präsenz auf dem US-Markt und die Personalaufstockung der indischen Niederlassung. Für 2024 hält Bachmann trotz widriger Umstände am eingeschlagenen Kurs fest. So investiere das Unternehmen weiterhin stark in Innovation und seine globale Präsenz.

Als Weltmarktführer im Bereich der Windkraftautomation habe Bachmann mittlerweile mehr als 150.000 Windkraftanlagen mit Automatisierungskomponenten ausgestattet – das entspreche knapp einem Drittel aller weltweit installierten Windräder. Bei den erneuerbaren Energien automatisierte das Unternehmen bislang unter anderem auch mehr als 6.000 Blockheizkraftwerke, heißt es weiter. Der maritime Bereich weise bis zu 20.000 automatisierte Schiffs- und Hafenanlagen auf. Bachmann beschäftigte zum Jahresende 538 Mitarbeitende.

www.bachmann.info



4. bis 6. Juni 2024 Messe Stuttgart

Das Internet ist groß. Viel zu groß, um direkt ans Ziel zu führen, wenn es um spezielle Guss- und Schmiedeteile geht. Schneller fündig werden Sie auf der CastForge: Mehr als 400 internationale Firmen bieten Produkte und Leistungen vom Rohling bis zum fertigen Bauteil an. Dazu erleben Sie ein produktives Netzwerk für persönlichen Austausch und Wissenstransfer.

Ihr kostenfreies Ticket:
QR-Code scannen und
Code CASTFORGE24VDI
einlösen.



castforge.de/ticket-sichern
#CastForge

IMPRESSUM

Konstruktion

ISSN 0720-5953, 76. Jahrgang 2024

Herausgeber

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

Organschaft

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

Beirat

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

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

Redaktion

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

Redaktion VDI-GPP

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

Redaktion Fachteil Ingenieur-Werkstoffe

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

Redaktionsbeirat

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

Autorenhinweise/Veröffentlichungsgrundlagen: www.konstruktion-online.de

Verlag

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

Geschäftsführung

Ken Fouhy, B.Eng.

Layout

Laura B. Gründel

Leitung Sales Solutions

Petra Seelmann-Maedchen
Telefon +49 211 6188-191
pmaedchen@vdi-nachrichten.com

Anzeigenverkauf

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

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

Vertrieb und Leserservice:

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

Bezugspreise

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

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

Satz

Medienpartner Mäurer GmbH
Auf dem Feldchen 14, 41849 Wassenberg

Druck

KLIEMO AG, Hütte 53, 4700 Eupen, Belgien

Copyright

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

Weitere Informationen:
www.konstruktion-online.de

Auflage IVW-geprüft



Illustration des Erweiterungsbaus. Foto: Lapp

Lapp: größte Einzelinvestition

„Die Erweiterung unseres Logistik- und Dienstleistungszentrums in Ludwigsburg ist ein Meilenstein für Lapp und ein klares Bekenntnis zum Großraum Stuttgart. Nach intensiver Planungsphase freue ich mich darauf, den Baubeginn endlich gemeinsam mit diesem ersten Spatenstich zu feiern“, sagte Jan Ciliax, Finanzvorstand der Lapp Gruppe. Am 30. April war Spatenstich für die größte Einzelinvestition in der Geschichte von Lapp. Die Inbetriebnahme sei für 2027 geplant. Die Investitionssumme bewegt sich in einem hohen zweistelligen Millionenbereich. „Um unsere Wettbewerbsfähigkeit zu steigern, werden wir in Ludwigsburg sehr stark in zukunftsweisende Technologien für eine digitalisierte Arbeitswelt und in eine moderne und ergonomische Arbeitsumgebung investieren“, erklärte Matthias Lapp, Vorstandsvorsitzender der Lapp Gruppe.

Der Erweiterungsbau umfasst rund 14.000 m² und grenzt direkt an das bestehende und 30.000 m² umfassende Logistikgebäude. Obwohl die Fläche des Erweiterungsbaus kleiner ist, bietet er laut Lapp doch so viel Raum wie das bestehende Gebäude. Der Grund: Das Gebäude wird 11 m in die Tiefe gebaut, so dass für das automatisierte Lager insgesamt bis zu 21 m Höhe zur Verfügung steht. Nach der Fertigstellung werde das Logistik- und Dienstleistungszentrum in Ludwigsburg das modernste der Lapp Gruppe weltweit sein. Die Transporte innerhalb des Gebäudes erfolgen nicht mehr mit Staplern, sondern fast ausschließlich mit FTS. Hinzu kommen moderne Ablängmaschinen mit einem hohen Automatisierungsgrad. Unterm Strich könne Lapp damit alle Arbeitsprozesse beschleunigen und effizienter gestalten. www.lapp.com



Flore de Durfort, CEO von Atmen und Silvio Konrad, Vorsitzender der Geschäftsführung von TÜV Nord EnSys bei der Vertragsunterzeichnung in Essen. Foto: TÜV Nord

Zertifizierbarkeit von grünem Wasserstoff digital überprüfen

Ob eine Wasserstoffproduktion den Kriterien genügt, um als nachhaltig oder grün eingestuft zu werden, sollen Betreiber künftig schon während der Entwicklung ihres Projekts überprüfen können: Die TÜV Nord EnSys GmbH & Co. KG und das Münchener Tech-Start-up Atmen bieten dafür nun gemeinsam den H2 Compliance Readiness Check (H2 CRC) an. Die Software-Lösung soll Projektentwicklern eine erste Einschätzung geben, ob sie die Kriterien der Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU (RED II) erfüllen und damit eine entsprechende Zertifizierung erhalten können. Durch die Simulation von Energieströmen und der CO₂-Intensität entlang der gesamten Wertschöpfungskette werde prognostiziert, ob die geplante Produktion bereits die EU-Vorschriften einhält oder wie der Weg zu einer optimierten Lieferkette aussehen könnte. Daraus wird ein H₂-Compliance-Readiness-Report generiert. Das digitale Tool soll damit bereits in einem frühen Stadium der Projektentwicklung das Vertrauen zwischen Abnehmern, Partnern, öffentlichen Stellen und Investoren fördern.

In der Kooperation der beiden Partner werde die technische Lösung von Atmen mit der fachlichen Expertise von TÜV Nord EnSys kombiniert. TÜV Nord EnSys hat an der Entwicklung der H₂ CRC-Methodik mitgewirkt und biete zusätzlich maßgeschneiderte Zertifizierungsfahrpläne und detaillierte Energiesimulationen an. Mit diesem Ansatz sollen Projektentwickler eine umfassende Strategie erhalten, um die EU-Kriterien für ihr Produkt zu erfüllen.

www.tuev-nord.de

KI-gesteuerte Roboter: Plattform zeigt Potenzial und Grenzen

Roboter, die selbstständig lernen und eng mit dem Menschen zusammenarbeiten – die Kombination der Robotik mit Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) hat großes Potenzial für Gesellschaft und Wirtschaft. Lernfähige Roboter können Beschäftigte entlasten, den Fachkräftemangel mildern und Menschen mit Beeinträchtigungen unterstützen. Bis die KI-gesteuerten Helfer in unserem Alltag ankommen, ist es jedoch noch ein langer Weg. In ihrem neuen Webspecial bietet die Plattform Lernende Systeme nach eigenen Angaben einen Überblick über die lernfähige Robotik: Ein Dashboard zeigt Einsatzbereiche und Entwicklungen, Expertinnen und Experten der Plattform beleuchten aus verschiedenen Blickwinkeln Chancen und Hürden. www.plattform-lernende-systeme.de



Kompakte Palettierer: varioSTACK

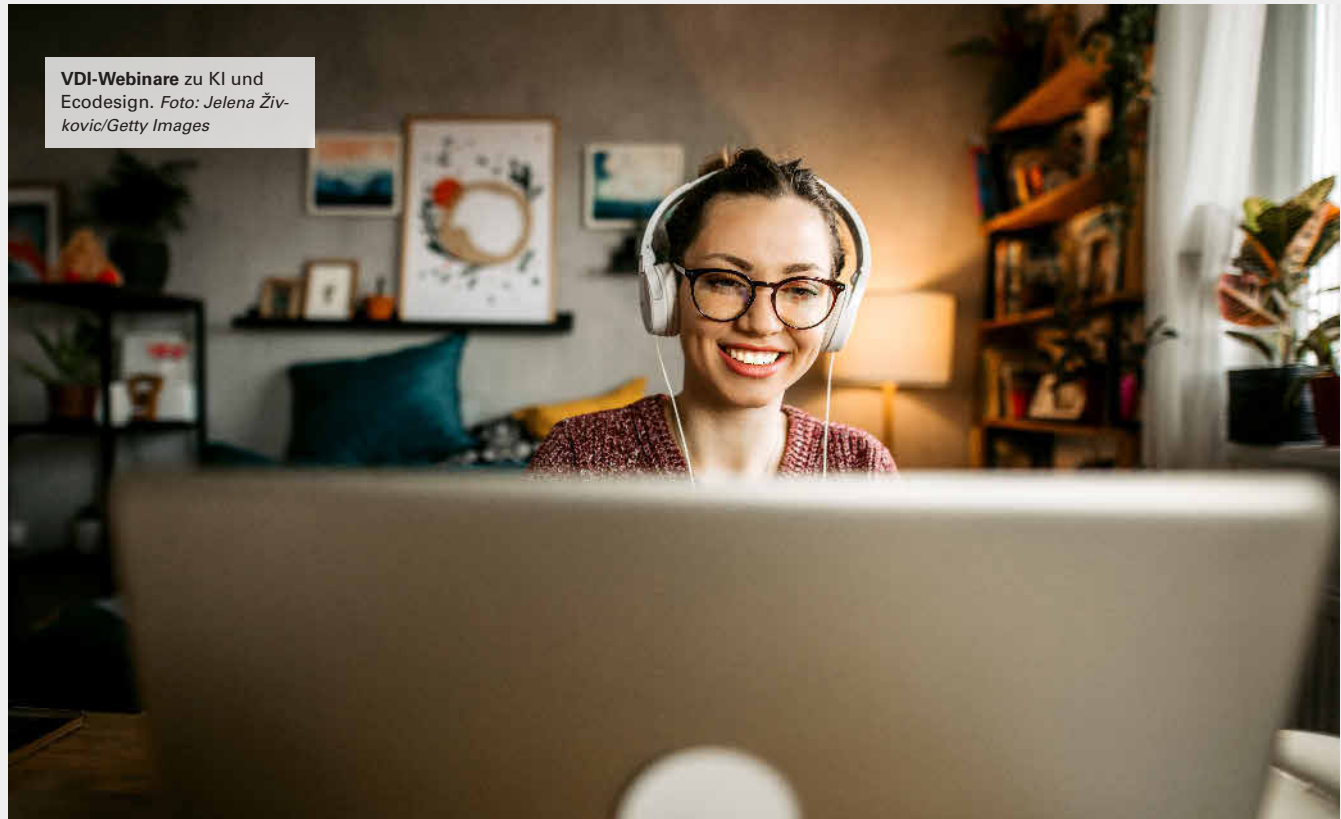
Palettiersysteme für Automatisierungsaufgaben:

- Cobot- & Roboterhandling möglich
- Wagen- oder Bandbeladung
- Mehrschichtvarianten für mehr Autonomie
- Reinraumversion für Klasse ISO 8 / Klasse D
- flexible Integration in bestehende Fertigungslinien

...mehr auf ief.de!



Handhabung weitergedacht.



VDI-Webinare zu KI und Ecodesign. Foto: Jelena Živkovic/Getty Images

Webinare für VDI-Mitglieder

Der VDI bietet seinen Mitgliedern mehrmals im Monat kostenfreie, praxisorientierte Webinare, durchgeführt von ausgewählten Top-Speakern aus Forschung, Industrie und Wissenschaft. Dabei ist es jedem möglich, direkt Fragen an die Referentinnen und Referenten zu stellen und mit anderen per Chat auf fachlicher Ebene zu diskutieren. Ob Karriere- und Soft-Skills-Themen oder fachliche Themen – alle Webinare garantieren einen Wissensvorsprung.

Wer nicht live dabei sein kann, findet alle Mitschnitte und die dazugehörigen Folienpräsentationen – auch von Webinaren, die bereits stattgefunden haben – im internen Mitgliederbereich „Mein VDI“.

KI in der Produktentwicklung

Am 29.5.2024 adressiert Prof. Dr.-Ing. Detlef Gerhard das Thema „Generative Engineering – Potentiale KI-unterstützter Produktentwicklung nutzen“. Die Anwendung von Künstlicher Intelligenz (KI) in Konstruktionssoftwaretools (zum Beispiel CAD) für generatives Design / generative Produktentwicklung, Konstruktionsautomatisierung und Konstruktionsoptimierung eröffnet völlig neue Möglichkeiten für die Entwicklung innovativer Produkte und Systeme und verändert den Konstruktionsprozess grundlegend. Cyber-physische Systeme sind Innovationstreiber in produzierenden Unternehmen, weisen aber auch einen hohen Grad an Komplexität auf. Um diese Komplexität zu beherrschen, ist der

Bedarf an hochqualifizierten Produktentwickler:innen, die in der Lage sind, das volle Potenzial moderner Software-Werkzeuge auszuschöpfen, unabdingbar.

Ecodesign

Im Juni startet eine kleine Reihe zum Thema Ecodesign. Jeweils um 16:30 Uhr geben am 25.6.2024 Lisa Cerny, Umweltbundesamt, und Prof. Dr. Ekkehard Schiefer, Frankfurt University of Applied Sciences, einen grundlegenden Einblick in die Thematik. Am 20.8.2024 beleuchtet PD Dr. Simone Raatz, Helmholtz-Institut, Aspekte des DfR (Design for Recycling). Ein weiterer Termin zum Thema „Batterierecycling“ ist im Herbst geplant.
www.vdi.de/webinare

F&E AGI Lean Project Days – Call for Papers

„Die Zukunft der Forschung und Entwicklung gestalten“ ist das Thema der Project Days unter dem Dach der Product People Konferenz vom 4. bis 6. September 2024 in Köln. Ein Beitrag

des VDI-Fachausschusses „Agile Entwicklung“ ist fest geplant. VDI-Mitglieder können zu Sonderkonditionen teilnehmen.
www.prodpppl.info/cfp



VDI-Forum zur agilen Entwicklung am 19.6.2024 in Radebeul. Foto: Fitzkes/shutterstock.com

VDI-Forum Agile Entwicklung mechatronischer Systeme

Am 19. Juni 2024 findet das VDI-Forum zur agilen Entwicklung mechatronischer Produkte unter dem Motto „Von der Utopie zur Realität?!“ in Radebeul bei Dresden statt.

Wenn Sie mit anderen Teilnehmenden Lösungen für Ihre individuellen Herausforderungen im Unternehmen diskutieren möchten oder einfach nur zuhören wollen, wie andere Unter-

nehmen zum Beispiel agile Methoden und Model-Based Systems Engineering (MBSE) zusammenbringen, sind Sie dort genau richtig.

www.vdi-wissensforum.de/02FO091



VDI-Podcast Technik aufs Ohr. Foto: VDI

Trends und Megatrends im Podcast

Am 6. Juni 2024 erscheint eine neue Folge des VDI-Podcasts „Technik aufs Ohr“. Diesmal zum Thema „Trends und Megatrends“. Die Gastgeber Sarah Janczura und Marco Dadomo sprechen mit den beiden Experten Bert Miecznik und Oliver Mayer über Trendthemen der Zukunft und wie man eigentlich am Puls der Zeit entwickelt. Wie trifft man schon heute wichtige Entscheidungen für die Zukunft und was ist eigentlich „Trendmanagement“? Freuen Sie sich auf eine spannende Folge von „Technik aufs Ohr“.

www.vdi.de/podcast

Herausgeber der Richtlinie ist die VDI-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (VDI-GMA). Sie kann bei DIN Media (Telefon +49 30 2601-2260) bezogen werden. Online-Bestellungen sind unter www.vdi.de/7100 und www.dinmedia.de möglich. VDI-Mitglieder erhalten 10 Prozent Preisvorteil auf alle VDI-Expertenempfehlungen und -Richtlinien. Sie können in vielen öffentlichen Auslegestellen kostenfrei eingesehen werden.

Learning by doing 4.0

Die Digitalisierung verändert Produkte, Geschäftsprozesse und auch die Arbeitswelt. Durch eine lernförderliche Arbeitsgestaltung kann die Fortbildung in die bestehenden Arbeitsprozesse integriert werden. Die neue Richtlinie VDI/VDE-MT 7100 „Lernförderliche Arbeitsgestaltung; Ziele, Nutzen, Begriffe“ zeigt, wie es geht.

Lernen im Arbeitsprozess und arbeitsnahes Lernen sind für Unternehmen wichtige Handlungsfelder, um den Anforderungen an Kompetenzerhalt und -entwicklung in der digitalisierten Arbeitswelt effizient und effektiv nachzukommen und um Lernpotenziale digitalisierter Arbeitssysteme auszuschöpfen. Um das zu ermöglichen, müssen Unternehmen lernförderliche Arbeitssysteme und Rahmenbedingungen schaffen. Die Richtlinie wendet sich an alle produzierenden und dienstleistenden Unternehmen.

www.vdi.de/7100

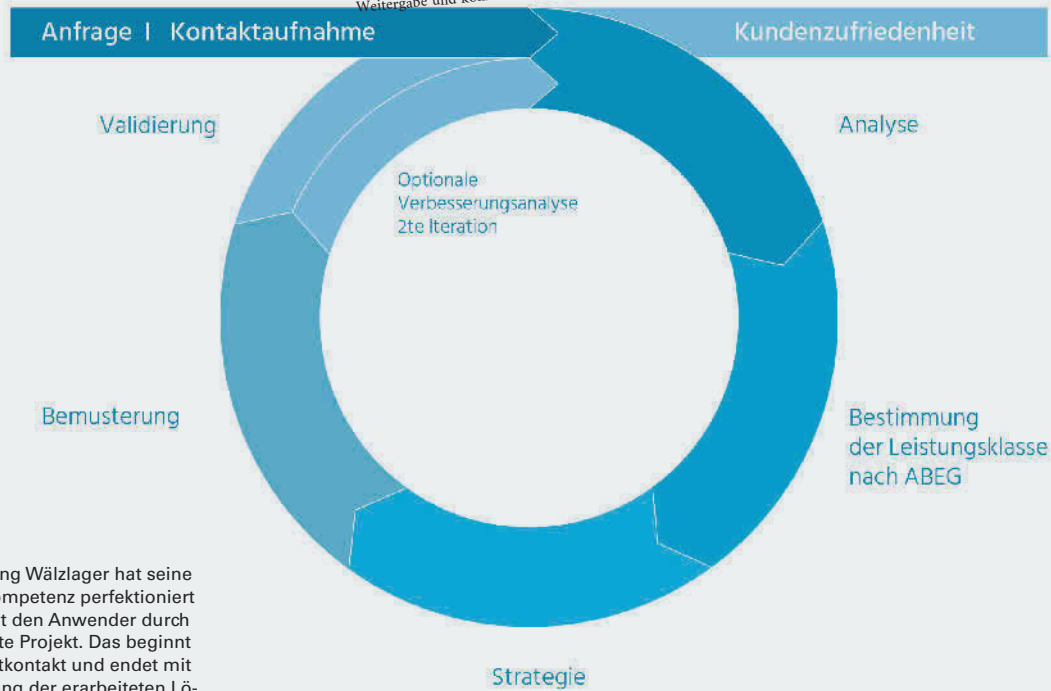


Bild 1: Findling Wälzlager hat seine Beratungskompetenz perfektioniert und begleitet den Anwender durch das komplette Projekt. Das beginnt mit dem Erstkontakt und endet mit der Validierung der erarbeiteten Lösung. Foto: Findling Wälzlager

Entscheidungsgrundlage für die Wälzlagerdimensionierung

Stufen-Modell zur Auswahl des passenden Wälzlagers

Bei Findling findet der Anwender weit mehr als Wälz- und Gleitlager. Erfahrene Ingenieure und Techniker unterstützen den Kunden bei der Planung und Konstruktion, helfen bei der Auswahl des passenden Wälzlagers und begleiten durch alle Entwicklungsschritte des Projekts.

Darüber hinaus kann das Unternehmen über sein globales Lieferanten-Netzwerk immer das technisch und wirtschaftlich richtige Produkt zeitnah zur Verfügung stellen und auch Sonderwünsche erfüllen.

In Zeiten hohen Kosten- und Innovationsdrucks ist eine kompetente und strukturierte Anwendungsberatung seitens der Zulieferer ein entscheidender Schlüssel zum Erfolg eines produzierenden Unternehmens. Findling Wälzlager hat als jahrzehntelanger Lieferant für unterschiedlichste Branchen und Applikationen seine Beratungskompetenz optimiert und begleitet den Anwender mit seiner Expertise durch das komplette Projekt.

Das beginnt mit dem Erstkontakt und endet mit der Validierung der erarbeiteten

Lösung. Dass diese sehr gut ist, garantiert dabei das anspruchsvolle Qualitätsmanagement der Karlsruher Wälzlagerspezialisten. Jeder Beratungsschritt ist gemäß ISO 9001 genau definiert und muss entsprechend geprüft und freigegeben werden.

„Trotz und auch wegen unserer hohen Qualitätsstandards ist der Weg von der ersten Kundenanfrage bis zur erfolgreichen Projektabwicklung nicht immer ein gerader Pfad, sondern ein komplexes Geflecht aus Analysen, Simulationen und strategischem Sourcing“, erklärt Geschäftsführer Klaus Findling. „Da ist es

wichtig, dass wir als Partner immer den Überblick behalten und unseren Kunden zügig und konsequent zur optimalen Lösung begleiten. Das beginnt mit dem ersten Anruf und endet erst dann, wenn unsere Wälzlager in der geplanten Anwendung zuverlässig ihre Arbeit tun.“

1. Die Anfrage: Startschuss für maßgeschneiderte Lösungen

Alles beginnt mit der Kontaktaufnahme seitens des Kunden. Sei es per E-Mail, Telefon oder Chatfunktion auf der Web-



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

site – die Anfrage markiert den Startpunkt für die Entwicklung einer individuellen Lösung. Doch das ist erst der Anfang. „Die Anfrage des Kunden ist das Startsignal für uns“, erklärt Klaus Findling. „Dabei ist es entscheidend, dass wir von Anfang an klare und möglichst detaillierte technische Informationen zur geplanten Anwendung erhalten, um effizient arbeiten zu können. Während der Kunde meist schon konkrete Vorstellungen äußert, bleiben wir ergebnisoffen und prüfen gemeinsam mit dem Kunden die Vor- und Nachteile seiner Auslegung.“

2. Die Analyse: Zielsetzung herausarbeiten

Nachdem die Anfrage eingegangen ist, beginnt bei Findling die genaue Prüfung der geplanten Anwendung. Dazu werden zunächst im Dialog mit dem Kunden alle relevanten technischen Daten gesammelt – natürlich unterstützt durch eine standardisierte Checkliste, um die Vollständigkeit der Anforderungen zu gewährleisten. Darüber hinaus werden die Zielsetzungen des Kunden herausgearbeitet und auf dieser Basis die Anforderungen definiert. „Wir müssen nicht nur die Anwendung selbst, sondern auch den Kontext kennen, in dem sie geplant wird“, erläutert Janek Herzog, Anwendungsingenieur bei Findling. „Sollte die neue Konstruktion Kosten sparen, handelt es sich um einen Prototypen oder wird eine Leistungssteigerung anvisiert?“ In diesem Zusammenhang vermittelt Findling dem Kunden die ABEG-Methode zur Lebensdauerberechnung von Wälzlagern, mit deren Hilfe sich der passende Wälzlagerstyp unter der Zielvorgabe des Cost-Sizings, Down-Sizings, Up-Sizings ermitteln lässt.

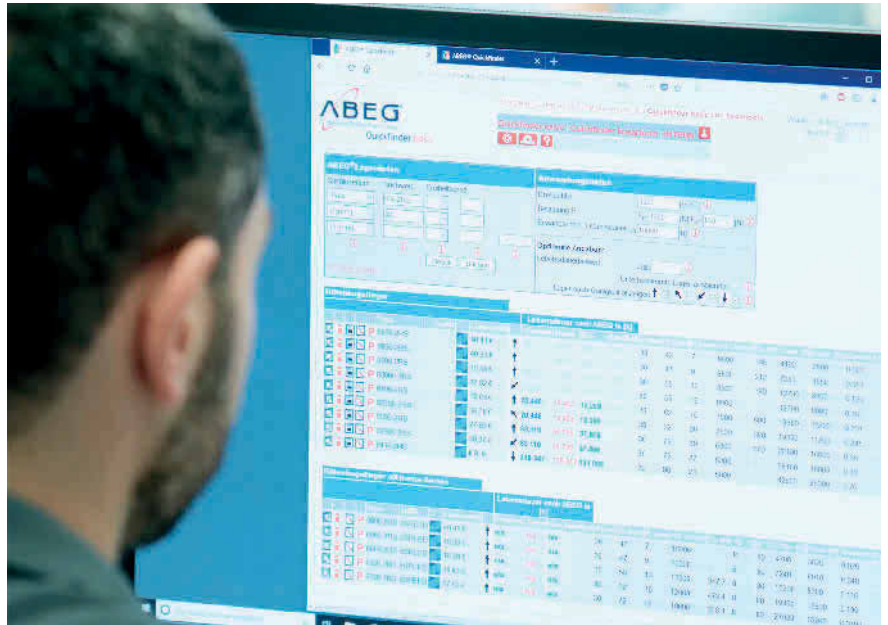


Bild 2: Im Dialog mit dem Kunden werden alle relevanten technischen Daten gesammelt. Auf dieser Basis beginnen die Experten bei Findling mit der Auslegung des optimalen Wälzlagers. Foto: Findling Wälzlager

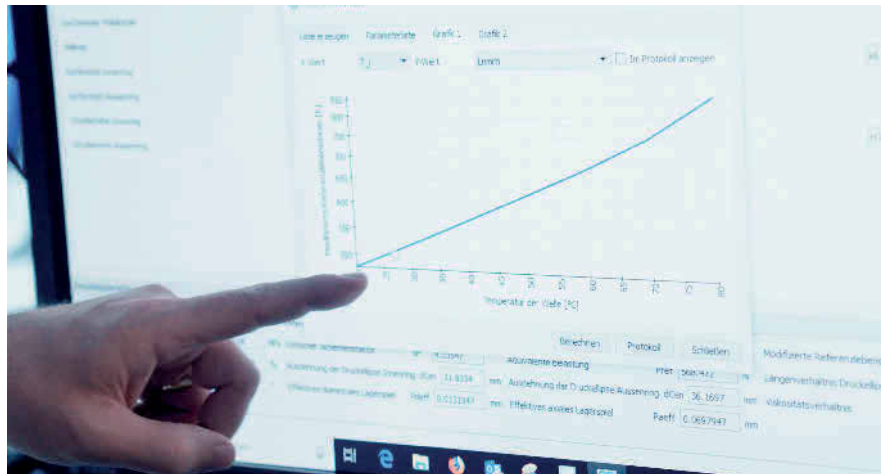


Bild 3: Eine vollständige Simulation des Wälzlagers zeigt, in welcher Leistungsklasse die gewünschte Lebensdauer erreicht wird, und ob bestimmte Anwendungsfaktoren, wie Belastungskollektiv, Schmieringssituation, Temperatur, Drehzahl oder Abdichtung kritisch sind. Foto: Findling Wälzlager

Machen die Sicht frei

DIE DREHFENSTER SPINVISTA VON HEMA

Wenn Werkzeugmaschinen in Betrieb sind, ist die Sicht in den Innenraum durch Späneflug und umherspritzendes Kühlschmiermittel stark eingeschränkt. Das SPINVISTA rotiert mit einer so hohen Geschwindigkeit, dass Flüssigkeiten und Verschmutzungen von der Scheibe ferngehalten werden. Das Ergebnis ist ein klarer Blick auf den Fertigungsprozess.

HEMA HEMA Maschinen- und Apparateschutz GmbH
Am Klinggraben 2 | 63500 Seligenstadt
Tel.: +49 6182 773-0 | info@hema-group.com
www.hema-group.com

Aus harteloxiertem Aluminium

Reaktionsschnell und überspücht

Geringe Aufbauhöhe



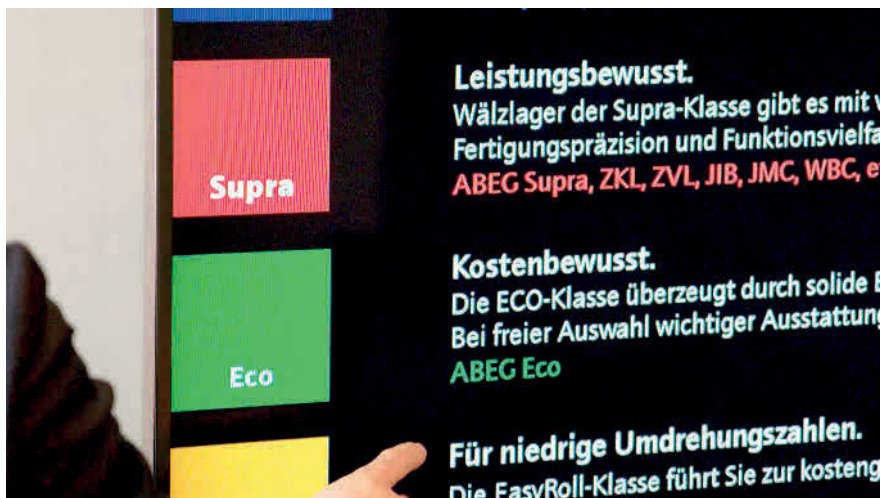


Bild 4: Die ABEG-Methode ist eine transparente und berechenbare Entscheidungsgrundlage zur Vermeidung von Über- und Unterdimensionierung von Wälzlagern. Foto: Findling Wälzlager



Bild 5: Zeigt sich nach der Validierung noch Optimierungsbedarf, werden die Musterlager aus den getesteten Baugruppen ausgebaut und einer Schadensanalyse nach VDI Richtlinie 3822 unterzogen. Foto: Findling Wälzlager

EINKAUFSOPTIMIERUNG FÜR WÄLZLAGERTECHNIK

Mit der ABEG-Methode hat Findling Wälzlager eine transparente und berechenbare Entscheidungsgrundlage zur Vermeidung von Über- und Unterdimensionierung von Wälzlagern geschaffen. Auf drei Berechnungswegen führt ABEG-Anwender aller Branchen zu einem Optimum an Kosteneffizienz:

- Mit Down-Sizing lässt sich das kleinstmögliche Lager für die geforderte Lebensdauer ermitteln. Dies ermöglicht Einsparpotentiale von 8 bis 15%.
- Mit Cost-Sizing wird für eine vorgegebene Anschlusskonstruktion immer der Wälzlager-Typ aus der kostengünstigsten Leistungsklasse gewählt. Dies ermöglicht Einsparpotentiale von 20 bis 30%.
- Mit Up-Sizing lassen sich technische Verbesserungen generieren und gleichzeitig Kosten sparen. Dies ermöglicht sogar Einsparpotentiale bis zu 35%.

Ergebnis der ABEG-Analyse ist eine Empfehlung für eine der vier Leistungsklassen Premium, Supra, Eco und EasyRoll. Mit dieser Klassifizierungs-Matrix lässt sich das vielfältige und bezüglich der Leistungsfähigkeit extrem unterschiedliche Angebot der Wälzlagertechnik von Findling übersichtlich abbilden.

3. Die Auslegung: Anforderungen an die Wälzlager bewerten

Sind die Daten zusammengetragen und die Anforderungen herausgearbeitet, haben die Ingenieure bei Findling den notwendigen Input, um die Lebensdauer nach der ABEG-Methode zu berechnen, die Anwendungssituation zu verstehen und die Anforderungen an das Wälzlager bewerten zu können. Die enge Zusammenarbeit mit dem Kunden ist dabei eine wesentliche Voraussetzung für einen zügigen Projektfortschritt.

Anhand der gesammelten Daten kann Findling nun eine vollständige Simulation des Wälzlagers durchführen. Diese zeigt, in welcher Leistungsklasse die gewünschte Lebensdauer erreicht wird, und ob bestimmte Anwendungsfaktoren, wie Belastungskollektiv, Schmierungs-situation, Temperatur, Drehzahl oder Abdichtung kritisch sind.

Auch seitens der Konstruktion gibt es entscheidende Faktoren, wie die Einbaubedingungen, die radialen und axialen Abstützungen der Lagerringe und die vorliegenden Passungen. Klaus Findling betont: „Die Berechnung ist entscheidend, um sicherzustellen, dass das gewählte Wälzlager allen Anforderungen unseres Kunden entspricht.“

4. Entscheidung: Festlegung von Leistungsklasse und Ausführung

Basierend auf den Simulationsergebnissen wird die geeignete Leistungsklasse festgelegt und mit dem Kunden besprochen. „Wir erläutern die von uns errechnete Lebensdauer des Wälzlagers sowie die dazugehörigen Sicherheitsfaktoren“, beschreibt Klaus Findling das transparente Vorgehen. „Neben der Leistungsklasse müssen auch besondere Ausführungen und Merkmale des Wälzlagers wie Abdichtung, Käfig, Schmierstoff, Schmierstoffmenge und Materialien thematisiert werden, damit das Wälzlager unter den jeweiligen Anwendungsbedingungen optimal arbeiten kann. All dies geht in die Detailspezifikation für das Wälzlager ein.“

5. Das Sourcing: Auf der Suche nach dem Besten

Anhand der Spezifikationen und der Leistungsklasse sucht Findling in seinem Netz von Herstellerwerken nach dem perfekten „Match“. „Die tägliche enge Zusammenarbeit mit unseren Lieferwerken lässt uns schnell die technischen und wirt-



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

schaftlichen Details klären,“ betont Klaus Findling. „So stellen wir sicher, dass wir am Ende ein Wälzlager anbieten, das alle Kundenspezifikationen abdeckt.“

6. Die Bemusterung: Qualität im Fokus

In Absprache mit den Kunden liefert Findling die benötigte Menge an Musterteilen. Die Bemusterung selbst kann – je nach Kundenwunsch – in verschiedenen Stufen durchgeführt werden:

1. Vereinfachter Erstmusterprüfbericht (Deckblattbemusterung)
2. Erstmusterprüfbericht (Maße + Werkstoffe)
3. Erstmusterprüfbericht nach VDA
4. Erstmusterprüfbericht nach VDA und IMDS Eintrag oder
5. PPAP (Production Part Approval Process) in verschiedenen Levels

Klaus Findling: „Alle vorhergehenden Prozesse dienen dem einen Ziel, dass die nun erfolgte Bemusterung auf Anhieb erfolgreich abläuft und unser Produkt allen Erwartungen des Kunden entspricht.“

7. Die Validierung: Sicherheit durch Tests

Optional führt Findling je nach Projekt und Kundenanforderung zusätzlich weitere Tests durch. Ein sehr umfangreicher, aber gleichzeitig aussagekräftiger Test ist beispielsweise der Lebensdauertest auf einem Leistungsprüfstand. Dabei werden Wälzlager unter erschwerten Bedingungen betrieben, um ihren gesamten Lebenszyklus in einer verkürzten Zeit abbilden zu können. Aber auch Korrosionstests (Salzsprühnebeltest) oder Werkstoffprüfungen sind möglich. In einigen Fällen hat auch der Kunde selbst Prüfstände, auf dem die fertige Baugruppe mit den verbauten Wälzlagern getestet wird.

8. Die Optimierungsphase: Dem Unbekannten auf der Spur

Zeigt sich nach der Validierung noch Optimierungsbedarf, werden die Musterlager aus den getesteten Baugruppen ausgebaut und einer

Schadensanalyse nach VDI Richtlinie 3822 unterzogen. Dabei werden nicht nur die „bekannten“ Parameter nochmals hinterfragt, sondern auch nach den bisher unbekanntem Einflussfaktoren auf die Lagerperformance im Test gesucht. Entsprechend formuliert die Anwendungstechnik Verbesserungsvorschläge, die im Validierungsprozess erneut einer Überprüfung unterzogen werden.

„Unsere Anwendungsberatung ist mehr als nur ein Service“, fasst Klaus Findling zusammen. „Sie ist unser Versprechen,

maßgeschneiderte Lösungen zu entwickeln, die den individuellen Anforderungen unserer Kunden haargenau gerecht werden. Dabei schnüren wir dem Anwender praktisch ein Rundum-Sorglos-Paket.“

Kontakt

Findling Wälzlager GmbH
76185 Karlsruhe
Tel. (07 21) 5 59 99 – 0
info@findling.com
www.findling.com



EDELSTAHLDÄMPFER STEIGERN DIE ANWENDUNGSVIELFALT

- Gesteigerte Leistungen durch vergrößerten Hub
- Mehr Auswahl dank Portfolio-Erweiterung
- Bis zu 5.650 Nm Energieaufnahme in kritischen Umgebungen
- Hochwertige Optik in effektiven Massenbereichen bis 63.700 kg

JETZT NEU:
150 MM HUB,
M64 IN V4A



Bild 1: KBK fertigt eine große Bandbreite an Kupplungen für die unterschiedlichsten industriellen Anwendungen. Foto: KBK Antriebstechnik



Hysteresemagnet- und Permanentmagnet-Kupplungen im Antriebsstrang

Magnetkupplungen sorgen für reibungslosen Betrieb von Verpackungsmaschinen

Verpackungsmaschinen müssen schnell, präzise und möglichst unterbrechungsfrei arbeiten. Diese hohen Anforderungen können mit dem Einsatz von Magnetkupplungen sehr gut erfüllt werden. Dies liegt unter anderem daran, dass es für unterschiedliche Anforderungen verschiedene Magnetkupplungsvarianten gibt, aber auch daran, dass bei Störungen keine Stillstandszeiten aufgrund der Magnetkupplung auftreten.

Magnetkupplungen übertragen das Drehmoment berührungslos und unterliegen deshalb keinerlei Verschleiß.

Bei mechanischen Kupplungen entsteht dagegen im Betrieb nicht nur Abrieb, der die Funktion der Maschine beeinträchtigen kann; auf die Dauer verändert sich aufgrund der Abnutzung auch das Drehmoment. Weil beides in Verpackungsmaschinen nicht gewünscht ist, kommt Magnetkupplungen bei der Konstruktion des Antriebsstrangs eine große Bedeutung zu. Sie können nicht abnutzen und übertragen das gewünschte Drehmoment daher konstant und ohne Abweichungen.

Bei der Integration von Magnetkupplungen in Verpackungsmaschinen ist die Wahl der richtigen Ausführung entscheidend für die optimale Funktion der Anwendung. KBK-Geschäftsführer Dipl.-Ing. (FH) Sven Karpstein: „Wir bieten Maschinen- und Anlagenbauern eine große Vielfalt, damit jeder die ideale Lösung für seine Applikation findet.“ Das Unternehmen aus dem unterfränkischen Klingenberg hat nicht nur verschiedene Hysteresemagnet-Kupplungen im Programm, sondern fertigt auch Permanentmagnet-Kupplungen. Diese eignen sich für Anwendungen mit Drehmomenten von 1,2 bis 150 Nm sowie Wellendurchmessern von 3 bis 44 mm und gleichen sogar teilweise radialen Wellenversatz aus – bei minimalen Rückstellkräften.

Hysteresemagnet-Kupplungen von KBK sind in vielen verschiedenen Ausführungen erhältlich – zum Beispiel mit beidseitiger Klemmnaben-Anbindung, mit aufgelaseter Skala und individuell einstellbarem Überlastmoment oder als Variante speziell für Anwendungen mit Schraub- und Wickelvorgängen. Die Hysteresemagnet-Kupplungen sind für niedrige Drehmomente zwischen 0,1 und 5 Nm ausgelegt, wie sie unter anderem in Getränke-Abfüllanlagen für PET-Flaschen benötigt werden.

Schraubverschlüsse: eine Frage des Drehmoments

In diesen Verpackungsanlagen ist das Aufbringen des Schraubverschlusses ein kritischer Moment. Er muss mit exakt dem richtigen Drehmoment auf das Gewinde der Flaschenmündung aufgezo-

gen werden: Bei einem zu hohen Anzugsmoment sitzt der Verschluss zu fest und lässt sich vom Verbraucher kaum lösen. Wird der Deckel dagegen mit zu wenig Kraft angezogen, sind die Flaschen undicht.

Eine Hysteresemagnet-Kupplung im sogenannten Verschleißkopf des Schraubverschließers sorgt deshalb dafür, dass die Deckel mit konstantem Drehmoment auf die Flasche aufgebracht werden. Sobald das erforderliche Anzugsmoment erreicht ist, wird der Verschleißkopf durch die

Magnetkupplung gleitend vom Antrieb des Schraubverschließers abgekoppelt.

Würde man dafür eine Permanentmagnet-Kupplung verwenden, käme es zu einer ruckelnden Trennung der Kraftübertragung zwischen Schraubverschleißer und Deckel. Dadurch würde der Verschluss sehr fest angezogen und wäre dann nur noch schwer zu öffnen. Beim Verschließen von Glasflaschen ist dieser Effekt dagegen ausdrücklich erwünscht, um eine optimale Abdichtung der Flasche zu erzielen. Die Schraubverschleißer die-

Driving the world

SEW
EURODRIVE

Energiesparen mit IE5-Lösungen



Modularität macht den Unterschied – auch beim Energiesparen

Die neuen Synchronmotoren der Baureihe DR2C.. (normativ IE5) reduzieren den Energiebedarf. Modularität ist die Basis des Baukastensystems von SEW-EURODRIVE: mit oder ohne Getriebe und zentralen oder dezentralen Umrichtern. So entsteht, Komponente für Komponente, kombiniert mit Drehzahlregelung oder zeitlichem Anlagenmanagement eine energie-effizientere Anlage. Je nach Lastprofil wird der Energiebedarf um 10 %, 20 % oder mehr verringert.

- platzsparend – nur so viel Bauvolumen wie nötig, aber stark überlastfähig
- besser – in der Gesamteffizienz wertvoller als gesetzlich für Komponenten vorgeschrieben
- vielfältig – nur wenige Varianten ermöglichen viele Wege zum Energiesparen
- passend – Betreiber, Ausrüster und Hersteller zusammen maximieren die Energie-Ersparnis



Bild 2: Die Hysteresemagnet-Kupplungen von KBK rutschen im Fall einer Überlast sanft durch. Sie eignen sich damit für den Einsatz an Schraubverschleißern von Getränkeabfüllanlagen oder in Dehnfolien-Verpackungsmaschinen. Foto: KBK Antriebstechnik



Bild 3: Permanentmagnet-Kupplungen von KBK wurden speziell für Anwendungen mit hohen Drehmomenten entwickelt. Foto: KBK Antriebstechnik

ser Anlagen sollten daher mit Permanentmagnet-Kupplungen ausgestattet werden.

Störungen führen nicht zum Produktionsstopp

Ein anderes wichtiges Einsatzgebiet von Magnetkupplungen sind Stauförderer, wie sie unter anderem in Großbäckereien zum Transport der Backwaren verwendet werden. Diese Anlagen müssen rund um die Uhr an sieben Tagen in der Woche störungsfrei arbeiten. Mechanische Kupplungen eignen sich für diese Anwendung nicht besonders gut, weil sie im Fall einer Überlast An- und Abtrieb voneinander

trennen und dann erst mühsam manuell wieder eingerastet werden müssen. Durch diesen Vorgang entstehen Stillstandzeiten, die hohe Kosten verursachen.

„Mit Magnetkupplungen hat man dieses Problem nicht“, berichtet Karpstein. „Der Betrieb der Anlage kann sofort weiterlaufen, wenn zum Beispiel durch ein verkeiltes Brot eine Störung aufgetreten ist und diese behoben wurde.“ Darüber hinaus erfüllen Magnetkupplungen auch die strengen Hygienevorschriften, weil sie im Gegensatz zu mechanischen Kupplungen keinen Abrieb erzeugen, der ins Produkt gelangen könnte. Und schließlich muss dieser Kupplungstyp nicht gewartet

werden, sodass in dieser Hinsicht keine Investitionen oder Fertigungsstopps nötig sind.

Magnetkupplungen halten Überlasten stand

Magnetkupplungen eignen sich vor allem deshalb sehr gut für Verpackungsmaschinen, weil sie eine Vielzahl an Überlastvorgängen überstehen ohne dabei zu verschleifen. Überlasten treten bei Verpackungsmaschinen immer wieder auf: So werden beispielsweise bei Horizontal-Kartonierern die in den Karton einzufüllenden Produkte parallel zur Faltschachtel auf einem Kassettenband angeliefert und von einem Schieber in die Schachtel geschoben. Bei diesem Vorgang kann es leicht zu Überlasten kommen.

Konstante Folienspannung bei Kartonverpackungen

Ein anderes Beispiel sind Kartonform- oder Kartonverschleißanlagen: Dabei können die Schneidwerkzeuge verkanten und somit eine Überlast verursachen. Und schließlich sind Dehnfolien-Verpackungsmaschinen zu nennen, bei denen die Folie immer in einer konstanten Spannung gehalten werden muss.

„Sobald sich diese Spannung ändert oder es beim Spannungsvorgang ruckelt, reißt die Folie“, weiß Karpstein. Setzt der Maschinenbauer aber Hysteresemagnet-Kupplungen ein, bleibt die Folienspannung konstant.

KBK liefert Herstellern von Verpackungsmaschinen eine große Vielfalt an Magnetkupplungen. Das zeigt sich auch in der Materialauswahl: „Wir fertigen auf Wunsch jede Magnetkupplung aus Edelstahl oder setzen spezielle Magnete und Klebstoffe ein – zum Beispiel für Hochtemperatur-Applikationen“, berichtet Karpstein. Er und sein Team unterstützen die Kunden zudem bei der Auslegung und Berechnung der erforderlichen Dreh- und Überlastmomente. ■

Kontakt

KBK Antriebstechnik GmbH
63911 Klingenberg
Tel. (0 93 72) 9 40 61 – 0
www.kbk-antriebstechnik.de
info@kbk-antriebstechnik.de

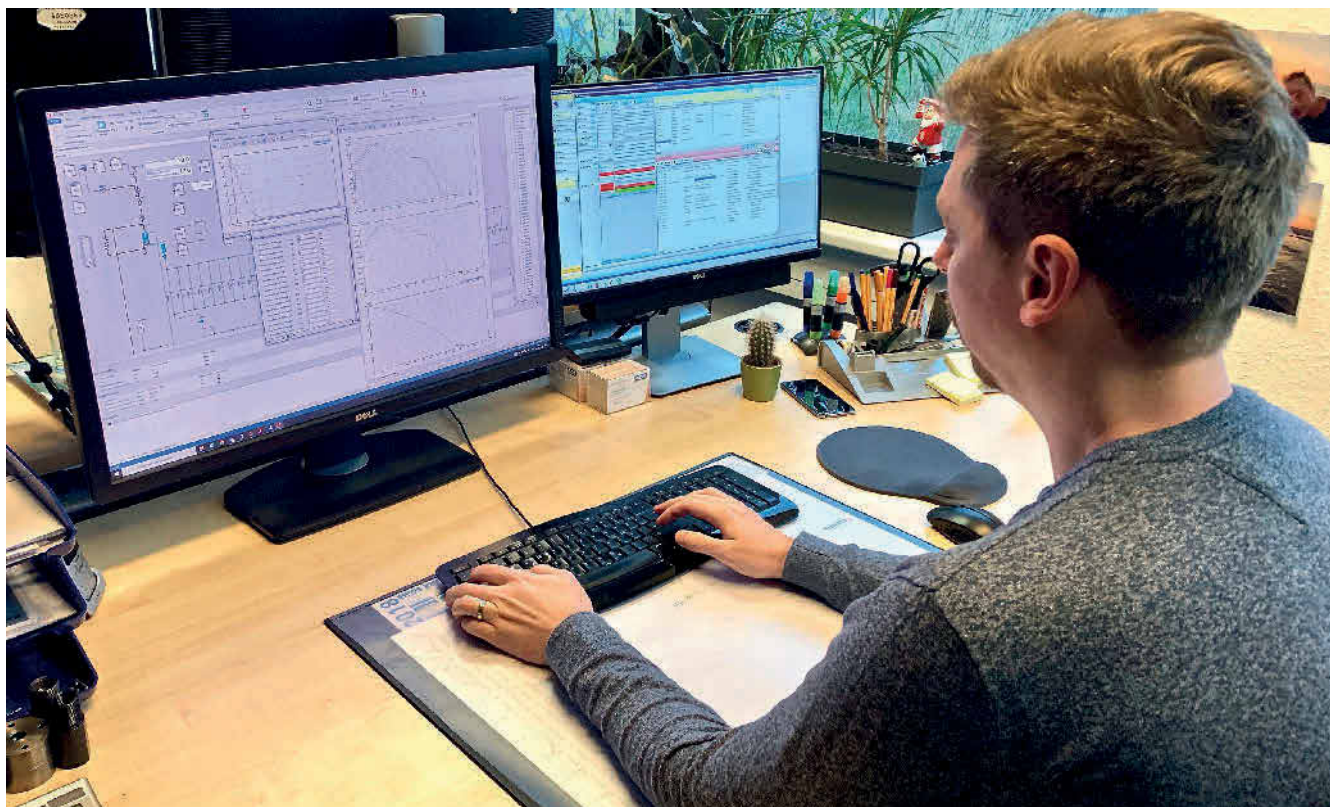


Bild 1: In Simulationen am innen liegenden Dichtungspaket und der Druckhülse von Industriestoßdämpfern werden bei ACE individuelle Modifikationen sowie hochwertige und kundenspezifische Lösungen mit dem gewissen Extra bei der Leistung erzielt. Foto: ACE Stoßdämpfer GmbH

Physikalische Modelle in eigene Simulationsmodelle integrieren

Industriestoßdämpfer als digitale Zwillinge

Lineare Kennlinien machen hydraulische Klein- und Industriestoßdämpfer im Vergleich zu anderen Dämpfungslösungen überlegen, wenn es darum geht, bewegte Massen schnell, sicher und punktgenau abzubremsen. Der Schlüssel für den Erfolg von ganz besonders leistungsfähigen Dämpfungselementen im industriellen Einsatz sind das personelle Know-how der Stoßdämpfer-Ingenieure sowie jahrzehntelange Weiterentwicklungen in Bereichen wie der Dichtungs- und Fluidtechnik.

TEXT: Robert Timmerberg

Im Gegensatz zu hydraulischen Bremszylindern und deren charakteristisch hoher Bremskraft am Hubanfang oder der pneumatischen Endlagendämpfung mit deren hoher Bremskraft am Hubende können In-

dustriestoßdämpfer Massen insgesamt weicher aufnehmen und gleichmäßiger verzögern. Die bei diesen stromlos arbeitenden hydraulischen Dämpfungselementen entstehenden linearen Kennlinien gehen einher mit der geringsten Belastung

für die Gesamtkonstruktion. Für entsprechende Einsatzzwecke stellt die ACE Stoßdämpfer GmbH über 200 Stoßdämpfertypen zur Verfügung, deren Kraftaufnahmen zwischen 0,68 Nm/Hub und 126.500 Nm/Hub betragen. Zum punkt-

genauen Verzögern werden von diesen Maschinenelementen effektive Massenbereiche von 500 g bis 204 t abgedeckt. Der Bremsvorgang bei Kleinstoßdämpfern vollzieht sich so schnell, dass Konstrukteure immer wieder ins Staunen geraten. Denn die von alternativen Lösungen wie Stahlfedern und Gummipuffern bekannten Rückpralleffekte entfallen vollständig. Gerade in der Automatisierung, wenn schnelle Taktraten entscheidend sind, ist das Nachfedern ein zeitraubender Nachteil. Im Vergleich mit der pneumatischen Dämpfung fallen bei hydraulischen Dämpfern vor allem die Schonung des verwendeten Materials und der Ressourcen dank reduzierten Luft- und Stromverbrauchs positiv ins Gewicht. Die Folge des Verzögerns von Bewegungen mit Stoßdämpfern sind daher sichere und schnelle Anlagen, da nach erfolgtem Bremsvorgang sofort der nächste Takt eingeleitet werden kann. Zusätzlich lässt sich mit hydraulischen Dämpfern eine Lärmreduzierung erzielen. Aufgrund ihrer kompakten Bauweise ermöglichen sie zudem die Integration in Maschinen und Systeme mit kleinerem Footprint für Dämpfungs- und Verzögerungsaufgaben.

Standards als Basis für kundenspezifische Lösungen

Viele Konstrukteure wissen, dass es andere und auch anders arbeitende Indus-

triestoßdämpfer als die von ACE auf dem Markt gibt. Wenn es um Robustheit geht, setzen manche auf Lösungen, die mit einem anderen Innenleben als die Dämpfer von ACE arbeiten und kommen auf vergleichbare Ergebnisse. Wenn es aber auf hochwertige und kundenspezifische Lösungen mit höherer Leistung ankommt, spielt ACE als Marktführer seine Stärken aus. So sorgt das Know-how bei den kundenspezifisch anpassbaren Druckhülsen durch die Anordnung der Bohrungen für zusätzliche Leistungssteigerungen. Damit erhöhen die ACE Spezialisten bei Bedarf in enger Abstimmung mit Vertriebspartnern und Kunden die sonst standardmäßig zu erzielende Aufprallgeschwindigkeit um das 2,5-fache und die für Dämpfer von der Stange sonst zulässige Taktung sogar um den Faktor 10. „Dafür haben wir die Hübe verkürzt, den Magnum-Dämpfer mit einer stärkeren Rückstellfeder ausgestattet, die Anzahl der Drosselbohrungen angepasst und den Ölrückfluss optimiert“, erklärt Jörg Küchmann aus der Forschungs- und Entwicklungsabteilung von ACE.

Sonderlösungen werden bei ACE für Bestands- und Neukunden oder in Abstimmung mit Forschungsabteilungen regelmäßig verwirklicht. Um möglichst vielen Konstrukteuren die Möglichkeit zu geben, von der Technik zu profitieren, bietet das Unternehmen aus Langenfeld im Rheinland neben Dämpfern aus Teni-

fer gehärtetem Stahl unter anderem auch Modelle aus Edelstahl an. Diese sind prädestiniert für Anwendungen mit hohen Anforderungen durch Hygienerichtlinien wie etwa in der Medizintechnik oder der Lebensmittelindustrie. Außerdem verfügen die Stoßdämpferpioniere, die 1963 als erstes Unternehmen den einstellbaren Industriestoßdämpfer zur Marktreife brachten, über spezielle Ausführungen für besonders hohe und niedrige Temperaturen sowie ein reichhaltiges Angebot an Zubehör und Anbauteilen. Dies erleichtert unter anderem die Integration in bestehende Konstruktionen. Zum Gesamtpaket gehört laut Ingenieur Küchmann auch der Service. Abgerundet wird das Angebot durch die interaktiven Webseiten, auf denen Berechnungsprogramme, auch für die schnelle Eigenauswahl optimaler Klein- und Industriestoßdämpfer sowie ein angeschlossener Online-Shop zur Verfügung stehen: www.ace-ace.de/de/berechnungen.html

Industriestoßdämpfer als digitale Zwillinge

Neben Online-Berechnungen und CAD-Daten in den gängigsten Formaten sowie den im Kundenauftrag bei ACE in

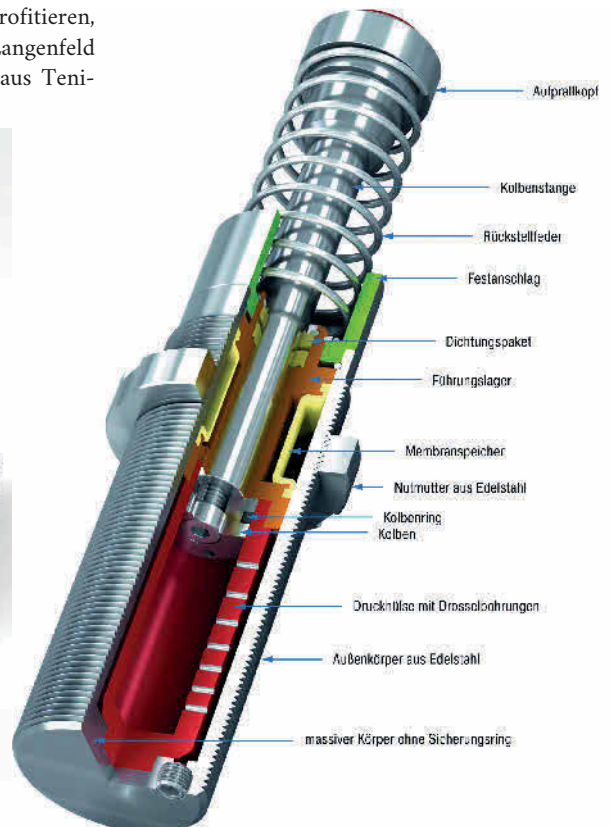


Bild 2: Außen- und Innenansicht der Industriestoßdämpfer (Innenansicht: Typ ACE Magnum). Foto: ACE Stoßdämpfer GmbH

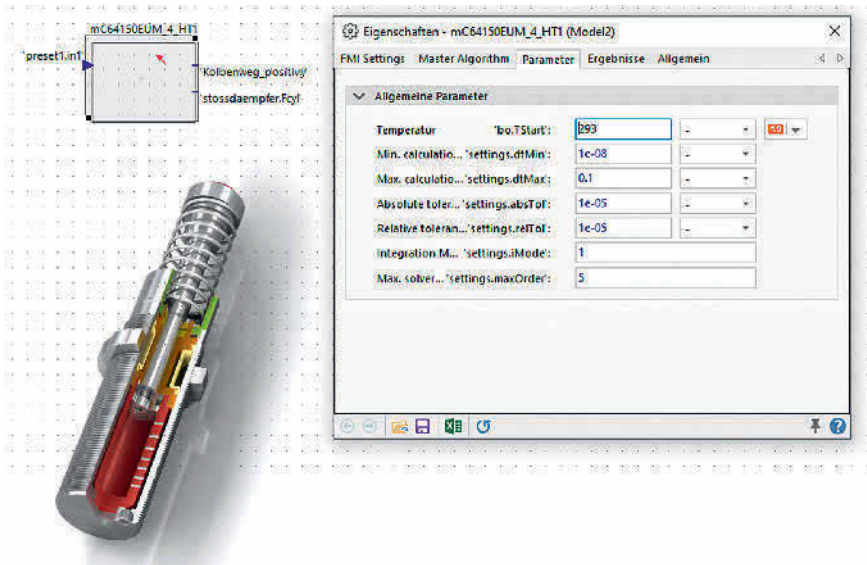


Bild 3: Konstrukteure erhalten von ACE umfassende Daten von allen Stoßdämpfertypen als digitale Zwillinge, sodass sie diese virtuell im Simulationsmodell ihrer Applikation testen können.
Foto: ACE Stoßdämpfer GmbH

Langenfeld durchgeführten Simulationen und anschließenden Validierungsschritten an einem der firmeneigenen Prüfstände, geht das Unternehmen nun einen digitalen Schritt weiter: Als erster Anbieter von Industriestoßdämpfern stellt ACE Kunden FMUs (Functional Mockup Units) zur Verfügung. Dadurch besteht die Möglichkeit, physikalische Modelle eines Zulieferprodukts, in diesem Fall der industriellen Dämpfer, in kundeneigene, umfangreiche Simulationsmodelle integrieren zu können. Christian Junghans, Produktmanager für Industriestoßdämpfer bei ACE, erläutert die Hintergründe: „Es geht darum, unsere Kunden zu befähigen, nicht

nur einen Industriestoßdämpfer per Berechnungsprogramm auswählen, sondern ihn virtuell im Simulationsmodell der Applikation testen zu können. Dieser Vorteil kommt besonders bei Sonderdämpfern zum Tragen, da wir Prototypen als digitalen Zwilling schnell zur Verfügung stellen können. Das erspart unseren Kunden viel Zeit und Geld.“

Konkret ist ACE in der Lage, Daten für alle Katalogstoßdämpfer auf Anfrage auszuleiten und an Kunden zu übergeben. Dabei sind die FMUs mit dem physikalischen Verhalten aus den Bereichen Hydraulik, Thermik und Mechanik der Industriestoßdämpfer von ACE ausgestattet.

Dadurch lässt sich beispielsweise genau der Einfluss der Eingangstemperatur auf das Dämpfungsverhalten des Industriestoßdämpfers berechnen und vorab auf dessen Auswirkung auf die Gesamtkonstruktion untersuchen. Durch diese und andere Eigenschaften erweisen sich die digitalen Zwillinge von ACE auf Kundenseite als essenzielle Bestandteile für das Virtual Prototyping und für die Dimensionierung von Konstruktionen. Auf der Habenseite sind neben der Zeit- und Kostenersparnis auch Nachhaltigkeitsvorteile zu verzeichnen, weil weniger physische Muster benötigt werden, um die Entwicklung einer Konstruktion abzuschließen.

Den praktischen Nutzen veranschaulicht Junghans an diesem Beispiel: „In einer Baugruppe einer Druckmaschine sollten unsere Stoßdämpfer als Endanschläge einer pneumatisch angetriebenen Drehmasse verwendet werden. Das Bewegungsverhalten wollte der Kunde vorab mit einem detaillierten Mehrkörpersimulationsmodell untersuchen. In diesem Modell wurden alle Bauteile als FE-Strukturen flexibel modelliert, sodass das Schwingungsverhalten der Baugruppe sehr gut abgebildet wurde. Ohne Dämpfung der Endanschläge zeigte die Simulation die vorher erwarteten, unzulässig hohen Bauteilschwingungen. Mit Integration der FMU eines unserer Kleinstoßdämpfer vom Typ MC150EUMH2 stellte der Kunde fest, dass das Betriebsverhalten verbessert wurde.“

Falls Kunden die FMUs von ACE verwenden wollen, benötigen sie eine Simulationssoftware, die ein FMI (Functional Mockup Interface) beinhaltet. Zu den gängigen Programmen, die FMUs von ACE integrieren, zählen Simulink und Adams. Weitere Informationen über die digitalen Dienstleistungen von ACE finden Interessenten über die genannten Links oder per Direktkontakt mit Christian Junghans oder Jörg Kuchmann (siehe Kontakt). ■

INDUSTRIESTOßDÄMPFERTECHNIK – AUF DAS INNENLEBEN KOMMT ES AN

Bei allen hydraulischen Stoßdämpfern von ACE spielen die Druckhülse und ihr Aufbau wesentliche Rollen. Trifft die Masse von einem bewegten Objekt auf den Klein- oder den Industriestoßdämpfer, setzt der in der zylindrischen Druckhülse befindliche Kolben das im Zylinder vorhandene Öl in Bewegung. Dieses Öl hat eine vom Konstrukteur vorher bestimmte Viskosität. Beim Bremsvorgang drückt der Kolben das Öl nach und nach durch eine Reihe von Drosselbohrungen, wobei die eingeleitete Energie in Wärme umgewandelt wird. Je nach Dämpfungsaufgabe sind die Drosselbohrungen über die Länge des Hubs innerhalb des Stoßdämpferkorpus ausgeklügelt in einer solchen Form angeordnet, dass die vordefinierte Masse mit konstanter Dämpfungskraft abgebremst wird. Der hydraulische Druck ist während des gesamten Bremsvorgangs nahezu konstant. Diese Eigenschaften zeichnen sowohl die Kleinstoßdämpfer von ACE aus, wie auch die bei Kennern weltweit als Referenzklasse in den mittleren Baugrößen geltenden Industriestoßdämpfer aus den Magnum-Baureihen. Letztgenannte verfügen, wie einige moderne Kleinstoßdämpfer von ACE, über Innovationen wie einen Membranspeicher, besondere Dichtungen und Druckhülsen in Topfform.



Robert Timmerberg
M. A., ist Fachjournalist in Düsseldorf
Foto: plus2 GmbH

Kontakt
ACE Stoßdämpfer GmbH
40764 Langenfeld
Christian Junghans
c-junghans@ace-int.eu
Jörg Kuchmann
j-kuechmann@ace-int.eu
www.ace-ace.de



Bild 1: Ethernet-APL in Kombination mit Profinet erwies sich unter realen Einsatzbedingungen als robust und zuverlässig. Foto: Endress+Hauser Digital Solutions

Untersuchung der Leistungsfähigkeit von Ethernet-APL in Feldversuchen

Ethernet-APL: Bereit für die Praxis

Die Erwartungen an Ethernet-APL in der Prozessindustrie sind enorm. Nicht zuletzt die Datenrate von 10 Mbit/s stellt beispielsweise im Vergleich zum Hart-Protokoll oder Profibus PA sowie Foundation Fieldbus H1 eine signifikante Verbesserung dar. Doch kann die Ethernet-basierte Übertragungstechnik die Erwartungen erfüllen? Damit wird sich ein Vortrag im Rahmen des 25. Automatisierungskongresses intensiv aus verschiedenen Blickwinkeln beschäftigen. Das Wichtigste vorab: In verschiedenen Feldversuchen und Studien konnte Ethernet-APL nun beweisen, dass es den hohen Ansprüchen gerecht wird.

TEXT: Oliver Schönfeld

Bei Ethernet-APL handelt es sich um eine noch vergleichsweise junge Technik. Die Veröffentlichung erfolgte im Juni 2021. Ein Hauptaspekt für die Entwicklung: Mit dem Fortschritt der Digitalisierung in der Prozessindustrie wachsen auch die über intelligente Sensoren und Aktoren verfügbaren Datenmengen kontinuierlich und erfordern daher leistungstärkere Übertragungstechniken. Diese Bedarfslücke soll in Zukunft Ethernet-APL schließen. Erst in den vergangenen gut anderthalb Jahren ist sukzessive eine nennenswerte Anzahl von Ethernet-APL-Produkten in den Markt gekommen.

Energie und Daten werden bei dieser Übertragungstechnik über ein einziges Aderpaar (Single Pair Ethernet) übertragen. Mittels der voll duplex-fähigen und schnellen Datenübertragung ist die Kommunikation über weite Strecken und selbst in explosionsgefährdeten Bereichen möglich. Um die Installation zu erleichtern und die Konnektivität der verwendeten Geräte zu optimieren, steht die Ethernet-APL Engineering-Richtlinie in deutscher und englischer Sprache zur Verfügung. Diese Richtlinie liefert grundlegenden Informationen zum Aufbau, zur Auslegung und zur Ex-Planung von Ethernet APL.

Erwartungen in Feldversuchen erfüllt

Doch wie steht es konkret um die Performance von Ethernet-APL? Die Hochschule Hannover und die Endress+Hauser Digital Solutions haben unabhängig voneinander verschiedene Fragestellungen in dieser Hinsicht bearbeitet – mit sehr positiven Resultaten. So haben durchgeführte Belastungstests von Endress+Hauser in einer praxisnahen Konfiguration mit Komponenten verschiedener Hersteller die Erwartungen erfüllt: Die Tests bestätigten die durchgängige Funktionsfähigkeit aller Komponenten unter Maximalausbaubedingungen. „Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung von Ethernet-APL als wichtigen Fortschritt in der industriellen Kommunikation“, sagt Frank Birgel von Endress+Hauser Digital Solutions, einer der Co-Referenten des Vortrags.

Allein in der ersten Testreihe wurden nahezu 240 Messumformer (Durchfluss, Druck, Temperatur und Füllstand) an einem Ethernet-APL-Netzwerk eingele-



Frank Birgel, Endress+Hauser Digital Solutions: „Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung von Ethernet-APL als wichtigen Fortschritt in der industriellen Kommunikation.“ Foto: Endress+Hauser Digital Solutions



Lukas Krapp, Hochschule Hannover: „Zusammenfassend ergaben die Messungen, dass die APL-Switches in der Lage sind, anlagenrelevante Echtzeitpakete erfolgreich unter den geforderten Bedingungen ohne Paketverluste zu empfangen, bearbeiten und durchzuleiten.“ Foto: privat

setzt. Dabei übertrafen die Testergebnisse die Erwartungen: Ethernet-APL in Kombination mit Profinet erwies sich unter realen Einsatzbedingungen als robust und zuverlässig. Die Tests wurden mit maximaler Netzwerkkapazität

durchgeführt und zeigten, dass Skalierbarkeit und Fehlerresistenz gewährleistet sind. Alle kritischen Anforderungen, wie Netzwerkgesamtlast und Zeiten für Redundanzwechsel, wurden nicht nur erreicht, sondern übertroffen.

„Die unterschiedlichen Komponenten harmonieren gut miteinander und die Systeme funktionieren zuverlässig. Dieser bedeutende Schritt, um den Ethernet-Standard in die Prozessautomatisierung auf Feldebene zu integrieren, ist somit gelungen“, unterstreicht Birgel weiter. Der performante Zugriff auf Daten von Feldgeräten eröffnet neue Effizienz- und Effektivitätsstufen in der Prozessautomatisierung.

Performance unter Realbedingungen getestet

Um die Auswirkungen von Überlastszenarien auf die Performance künftiger voll Ethernet-basierter Netzwerke zu bewerten, hat Lukas Krapp, weiterer Co-Referent des Beitrags, im Rahmen seiner Masterarbeit an der Hochschule Hannover in einer Studie das Verhalten von zwei realen Ethernet-APL-Switches in einer Umgebung mit unterschiedlichen Verbindungsgeschwindigkeiten untersucht. Insbesondere Paketverluste von hoch-priorisiertem Echtzeitverkehr dürfen nicht auftreten, weil es sonst zu Fehlfunktionen in der Anlage kommen kann. Dafür wurden diverse Messungen an den entsprechenden APL-Switches vorgenommen, basierend auf verschiedenen Test-szenarien mit unterschiedlicher Paketflussrichtung, Netzbelastung und Paketpriorisierung.

Die Tests stützten sich auf zwei aus der Praxis abgeleitete Best-Practice-Beispiele für Netzwerktopologien mit unterschiedlichen Verbindungsgeschwindigkeiten, bestehend

**Jetzt
Eintrittsticket
sichern!**



SENSOR+TEST 2024
DIE MESSTECHNIK-MESSE
11.-13. Juni 2024, Nürnberg

www.sensor-test.de

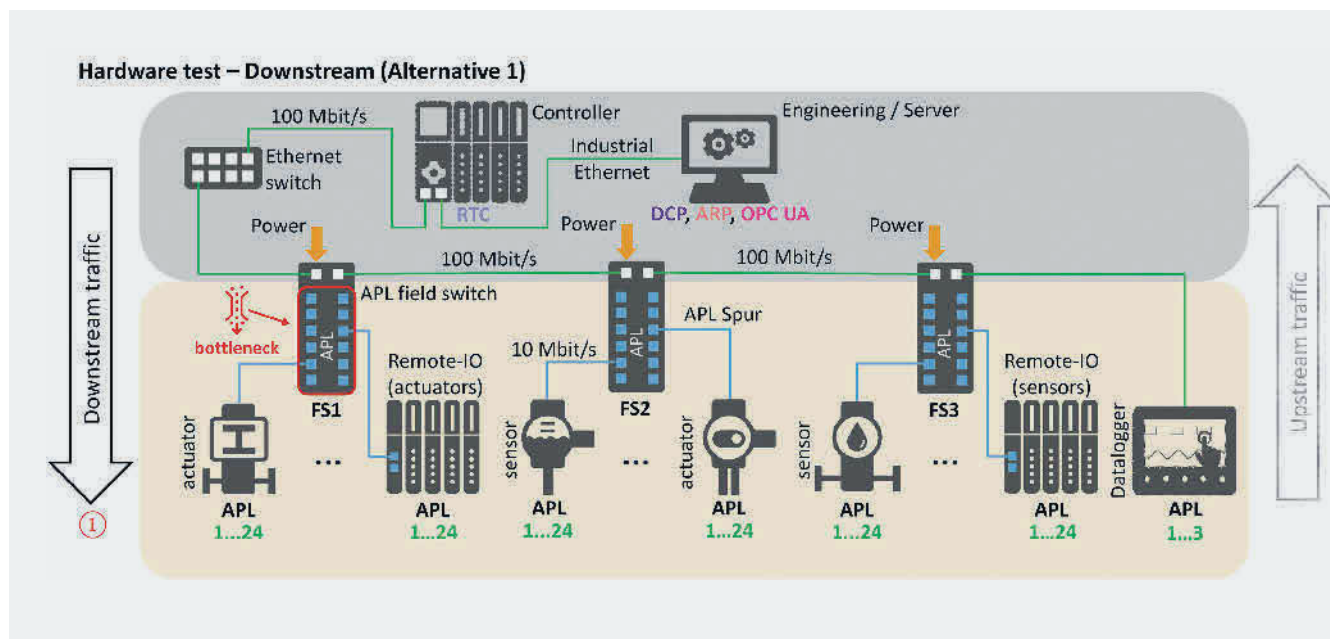


Bild 2: Wie verhalten sich Ethernet-APL-Switches in einer Umgebung mit unterschiedlichen Verbindungsgeschwindigkeiten? Dieser Frage ging eine Studie der Hochschule Hannover auf den Grund. Grafik: L. Krapp, Hochschule Hannover

aus der Kombination von zwei Physical-Layern, einer 100 Mbit/s Industrial Ethernet und einer 10 Mbit/s Ethernet-APL Ebene, in denen die APL-Switches getestet wurden. „Zusammenfassend ergaben die Messungen, dass die APL-Switches in der Lage sind, anlagenrelevante Echtzeitpakete erfolgreich unter den geforderten Bedingungen ohne Paketverluste zu empfangen, bearbeiten und durchzuleiten. Selbst bei stark überhöhter Paketlast über diese Anforderungen hinaus behielten die APL-Switches in den meisten Testszenarien ihre korrekte Funktionsweise bei, was die Erwartungen an reale Anwendungsbedingungen deutlich übertraf“, schildert Krapp.

Darüber hinaus haben die APL-Switches in allen getesteten Lastsituationen bewiesen, dass diese konform zur IEE 802.1Q – bei Bedarf – den hoch-priorisierten Echtzeitverkehr gegenüber dem, gering-priorisierten Nicht-Echtzeitverkehr bevorzugt haben. Zusammenfassend lässt sich somit feststellen, dass die Analyse des Paketdurchsatzes der APL-Switches gezeigt hat, dass das Risiko des Verlusts von Paketen mit anlagenrelevanten Echtzeitinformationen in den untersuchten Netzwerken mit variierender Verbindungsgeschwindigkeit relativ niedrig ist und somit keine Beeinträchtigung der korrekten Netzwerkfunktion zu befürchten ist. Krapp weiter: „Daraus folgt, dass die zukünftige Implementierung von Netzwerken mit gemischten Verbindungsgeschwindigkeiten (engl. ‘mixed link speed’ networks) bei korrekter



Prof. Karl-Heinz Niemann, Hochschule Hannover: „Die Einführung von Ethernet-APL verfügt über sehr gute Erfolgsaussichten für eine zeitnahe Verbreitung in der Prozessindustrie.“ Foto: Hochschule Hannover

Gerätekonfiguration keine Herausforderung für die korrekte Netzwerkfunktionalität darstellen sollte.“

Perspektiven für eine zeitnahe Verbreitung

Karl-Heinz Niemann, Professor für Prozessinformatik & Automatisierungstechnik an der Hochschule Hannover und ebenfalls einer der Co-Referenten im Rahmen des Automatisierungskongresses, zeigt sich überzeugt: „Die Einführung von Ethernet-APL verfügt über sehr gute Erfolgsaussichten für eine zeitnahe Verbreitung in der Prozessindustrie.“ Ein wesentlicher Vorteil: Mit Ethernet-APL wird die Realisierung ei-

nes durchgängigen Automatisierungsnetzwerks bis zum Sensor/Aktor auf Ethernet-Basis möglich. Dadurch können alle Teilnehmer Daten über ein einheitliches Ethernet-Netzwerk und Protokolle wie Profinet, EtherNet/IP, OPC UA und MQTT austauschen, ohne dass Gateways für die Protokollanpassung nötig sind.

Prof. Niemann unterstreicht abschließend: „Die vertikale Integration von der Feldebene bis zur Betriebsleitebene wird damit Wirklichkeit. Ethernet-APL ermöglicht OT-Sicherheit (Security) in Verbindung mit funktionaler Sicherheit (Safety) im selben Netzwerk.“ Aus Sicht des Automatisierungs-Experten gibt es somit zahlreiche überzeugende Gründe, den Schritt hin zur digitalen Sensor-/Aktor-Kommunikation zu gehen. Im Rahmen des Kongresses wird er auf Basis der vorgestellten Ergebnisse unter anderem Empfehlungen zur Planung von Ethernet-APL-Netzwerken geben.

Der Vortrag der drei Experten wird auf dem Automatisierungskongress (2. und 3. Juli, www.automatisierungskongress.de) gehalten. ■



Oliver Schönfeld

Schönfeld PR
48161 Münster
os@schoenfeld-pr.de

Siemens treibt Skalierung generativer KI voran

Siemens hat auf der Hannover Messe 2024 das erste generative KI-gestützte Produkt für Engineering im großen Maßstab vorgestellt. Wie das Unternehmen ausführt, werde der Siemens Industrial Copilot Industriekunden jeder Größe den industriellen Einsatz von generativer KI ermöglichen und Produktionsprozesse transformieren. Grenzebach Gruppe, ein Anbieter von industriellen Automatisierungslösungen, gehört zu den ersten Anwendern. Das global aufgestellte Familienunternehmen testet, wie generative KI die industrielle Automatisierung erweitern kann und Ingenieure zugleich dabei unterstützt Zeit, Arbeitsaufwand und Fehleranfälligkeit zu reduzieren.

Dr. Steven Althaus, CEO Grenzebach Gruppe, sagt: „Generative KI ist ein absolutes Must-have. Wir bei Grenzebach sind bestrebt, die Kraft von KI zu nutzen, um immer einen Schritt voraus zu sein. Der Siemens Industrial Copilot wird es uns ermöglichen, die riesigen Datenmengen in Fabriken optimal zu nutzen. Und die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine erreicht das nächste Level. Gemeinsam mit Siemens können wir dem Fachkräftemangel begegnen, Innovationen vorantreiben und die Produktivität unserer Belegschaft deutlich steigern.“

Die automatisierte Codegenerierung in Structured Control Language (SCL) zählt zu den neuen Funktionen des Siemens Industrial Copilot für TIA Portal Engineering: Das TIA Portal übernimmt laut Siemens den Code-Vorschlag direkt vom KI-System, so dass Kopieren und Einfügen nicht erforderlich sind. Der Siemens Industrial Copilot könne Nutzern SCL-Codeblöcke erklären, sie bei einer ersten Maschinen- oder Anlagenvisualisierung in WinCC Unified unterstützen und diese auch erstellen. Darüber hinaus können Engineering-Teams Siemens Bedienungsanleitungen in natürlicher Sprache durchsuchen. Kunden haben die Möglichkeit, auf ihre private Instanz von Azure OpenAI Service zuzugreifen. Somit werden keine Kundendaten zum Training der KI-Modelle verwendet, heißt es weiter.



Siemens Industrial Copilot soll Industriekunden jeder Größe den industriellen Einsatz von generativer KI ermöglichen. Foto: Siemens

Siemens arbeitet nach eigenen Angaben an einer Vielzahl von generativen, KI-gestützten industriellen Copiloten entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Copiloten, die die Art und Weise verändern werden, wie Unternehmen entwerfen, planen, entwickeln, konstruieren und arbeiten. Gemeinsam mit Pilotkunden und Partnern treibe das Unternehmen generative KI-gestützte Copilot-Lösungen verschiedenster Branchen voran, einschließlich Automobilindustrie, Infrastruktur, Transportwesen und Gesundheitswesen bis hin zu Fertigung und Maschinenbau. Siemens Industrial Copilots für Design, Planung, Engineering, Betrieb und Services unterstützen Ingenieure, Fabrikmitarbeitende und alle anderen. Für eine einfache, schnelle und effiziente Interaktion zwischen Mensch und Maschine.

www.siemens.de/industrial-copilot



Ich will einen BEN.

BEN ist Spezialist für maßgearbeitete Elektromotoren und passt jeden Motor an meine Wünsche, die Umgebungsbedingungen und die jeweilige Einbausituation an.

Das ist perfekt. Für meine Anwendungen und für mich.

www.benbuchele.de



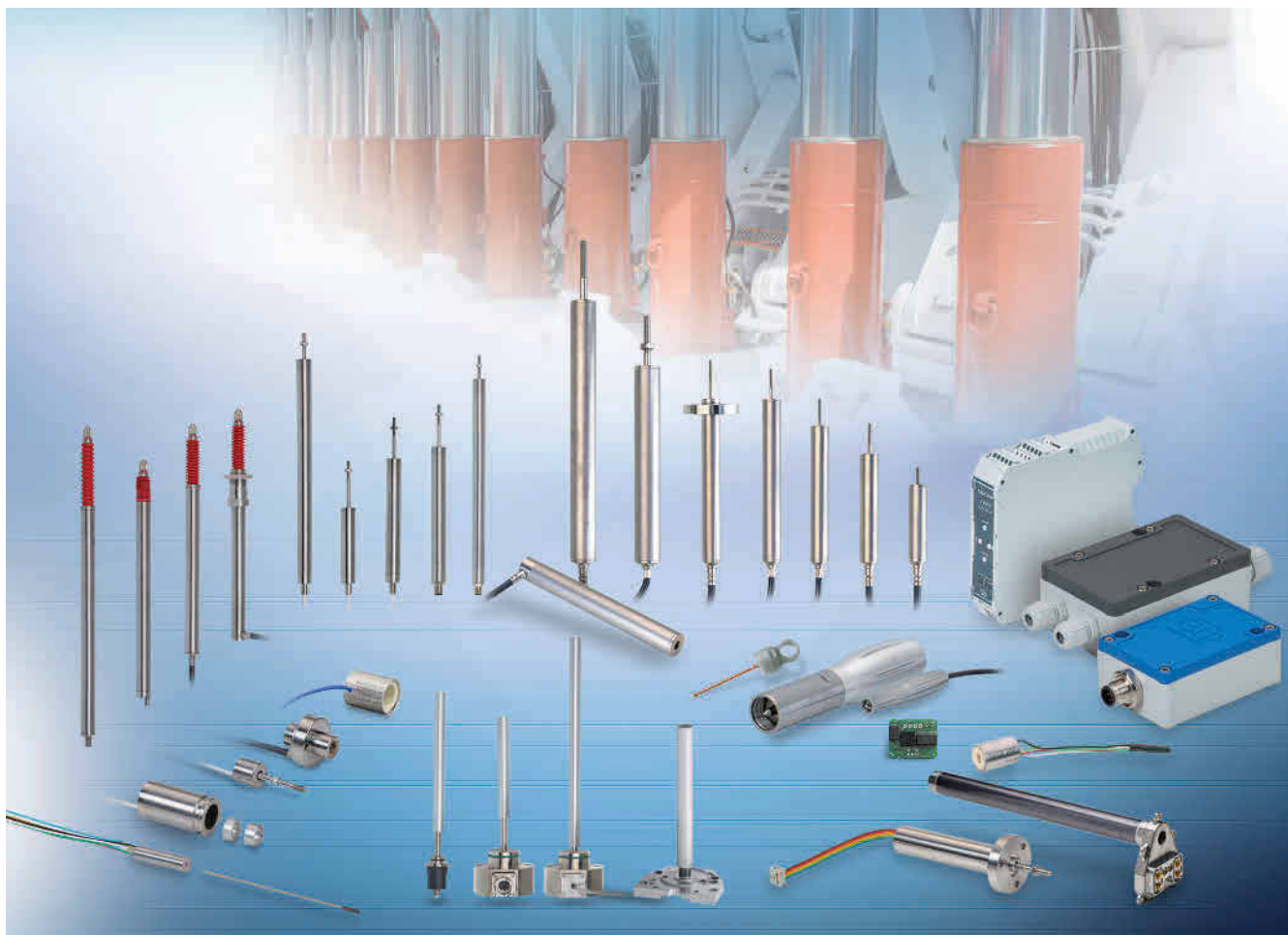


Bild 1: Induktive Weg- und Positionssensoren sind robust, zuverlässig sowie präzise und werden für Einzelanwendungen und Großserien unter anderem in der Prozessautomatisierung, Qualitätssicherung, an Prüfständen sowie in der Automobilindustrie eingesetzt. Foto: Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG

Sensoren für die industrielle Automatisierung

Präzisionsmessungen mit induktiven Tastern

Die industrielle Automatisierung spielt eine entscheidende Rolle beim Optimieren von Produktionsprozessen und der Effizienzsteigerung in zahlreichen Branchen. In diesem Zusammenhang sind Sensoren von zentraler Bedeutung, weil sie die Grundlage für das Erfassen und Verarbeiten von Daten zum Steuern und Überwachen von Maschinen und Anlagen bilden.

Induktive Weg- und Positionssensoren haben sich für diese Anwendungen bewährt. Sie sind robust, zuverlässig sowie präzise und werden für Einzelanwendungen und Großserien unter anderem in der Prozessautomatisierung, Qualitätssicherung, an Prüfständen sowie in der Automobilindustrie eingesetzt.

TEXT: Christian Niederhofer

Induktive Sensoren nehmen erheblichen Einfluss auf Effizienz, Genauigkeit und Zuverlässigkeit industrieller Automatisierungssysteme. Ihr breites Anwendungsspektrum, hohe Präzision, Signal- und Temperaturstabilität sowie ihr robuster Aufbau machen sie zu einer unverzichtbaren Technik in zahlreichen Branchen. Diese Sensoren erfassen Verschiebungen, Abstände oder Positionen der Messobjekte. Wegsensoren der Indu-Sensor-Baureihe sind weit verbreitet in Anwendungen der Prozessautomatisierung, Qualitätssicherung, Prüfständen, Hydraulik, Pneumatikzylindern und im Automobilbau. Die Sensoren werden sowohl in Einzel- als auch in Großserien-OEM-Anwendungen erfolgreich eingesetzt.

Micro-Epsilon hat bereits 1987 die ersten linearen induktiven Wegaufnehmer der LVDT-Reihe in das Produktportfolio aufgenommen. Seither hat das Unternehmen diese Baureihe immer weiter optimiert und um zusätzliche Messverfahren ergänzt. Dazu gehören neben den LVDT (DTA, DTD)-Sensoren auch die LDR-Halbbrückensensoren und die Eigenentwicklungen VIP, LVP, EDS und MDS. Modelle mit Stößel, Messhülse, Messrohr, Taster, integrierter oder externer Elektronik eröffnen zahlreiche Einsatzmöglichkeiten in unterschiedlichen Branchen. Eine weitere Stärke des Unternehmens sind Eigenentwicklungen, die eine Anpassung an kundenspezifische Messaufgaben ermöglichen. Die induktiven Wegaufnehmer sind für den industriellen Einsatz konzipiert. Sie zeichnen sich durch Robustheit

und Zuverlässigkeit bei rauen Bedingungen aus – mit hoher Signalgüte und Temperaturstabilität, Resistenz gegen Schock und Vibration sowie Unempfindlichkeit gegen Schmutz sowie Feuchtigkeit.

Die induktiven Sensoren von Micro-Epsilon bestehen grundsätzlich aus einer gewickelten Spule, die mit einer variierenden Erregerspannung versorgt wird. Bei diesen zugrundeliegenden Techniken können Messungen ohne Störung durch bestimmte Materialien zwischen dem Sensor und dem Ziel durchgeführt werden, zum Beispiel Kunststoffe, Keramik,

Schmutz, Öl oder nicht ferromagnetischer Stahl.

Messsysteme für beengte Platzverhältnisse

Die Sensoren der LDR-Serie zeichnen sich durch eine kurze, kompakte Bauform mit geringem Durchmesser aus. Die kompakte Bauform und der kleine Sensordurchmesser erlauben den Einbau der Messsysteme auch unter eingeschränkten Platzverhältnissen. Bei diesem Messverfahren verfügt der Sensor über eine ein-

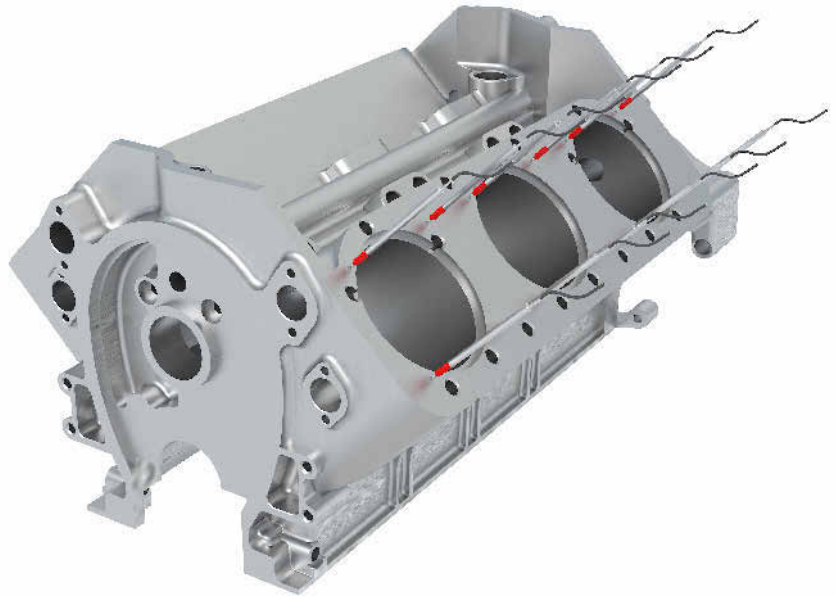


Bild 2: Die Einhaltung geometrischer Toleranzen bei mechanischen Bauteilen ist ein entscheidendes Qualitätsmerkmal. Die induktiven Sensoren ermöglichen eine 100%-Kontrolle in der Fertigung, Inline wie Offline. Foto: Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG



Bild 3: Prüfung der Durchbiegung von Metallplatten. Foto: Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG

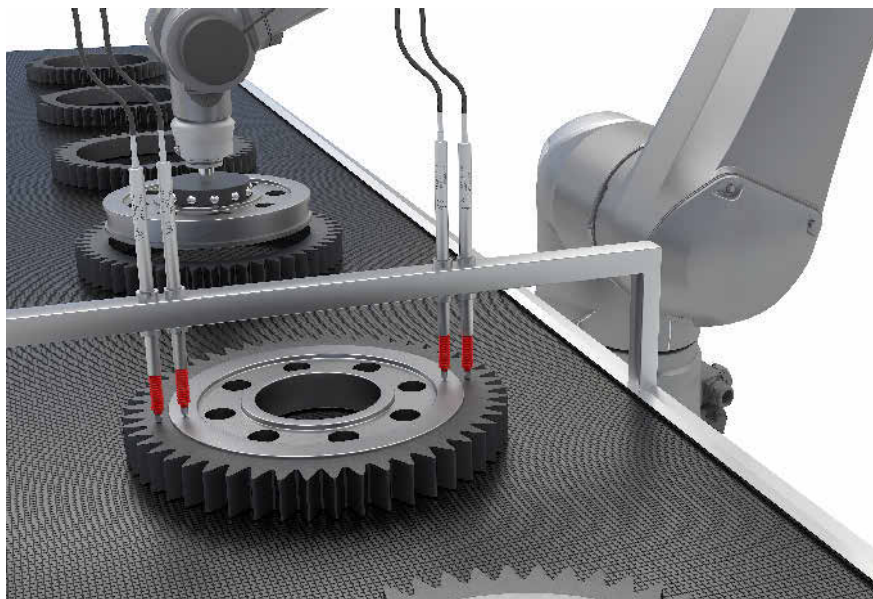


Bild 4: Überprüfen der Einpresstiefe von Zahnrädern. Foto: Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG

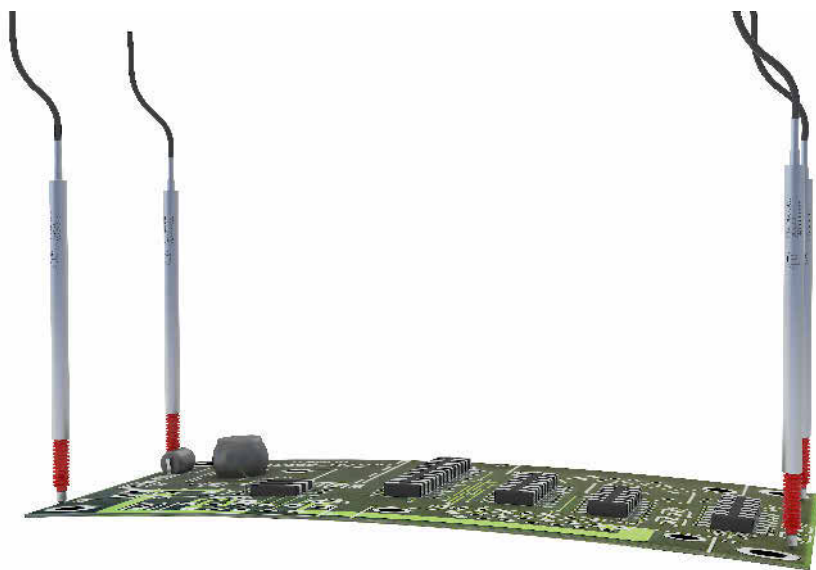


Bild 5: Prüfung der Durchbiegung von Leiterplatten. Foto: Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG

zelne Spule mit Mittelabgriff (Halbbrücke). Im Inneren der Sensorspule, die aus symmetrisch aufgebauten Wicklungskammern besteht, bewegt sich ein ungeführter Stößel. Dieser Stößel ist über ein Gewinde mit dem bewegten Messobjekt verbunden. Aufgrund der Bewegung des Stößels innerhalb der Spule wird ein elektrisches Signal erzeugt, das direkt proportional zum zurückgelegten Weg ist.

Induktive Sensoren der Serie LVDT und Mess-Taster

Die induktiven Sensoren der Serie EDS sind mit einem druckdichten Edelstahlge-

häuse aufgebaut. Das Messprinzip der EDS-Serie basiert auf dem Wirbelstromeffekt. Der Wegsensor besteht aus einer Mess- und einer Kompensationsspule, die beide druckdicht in einem nicht ferromagnetischen Edelstahlstab montiert sind. Als Messobjekt dient eine Aluminiumhülse, die berührunglos am Gehäuse entlang bewegt werden kann. Werden beide Spulen mit Wechselstrom versorgt, so entstehen im Rohr zwei orthogonale Magnetfelder. Die elektronische Schaltung erzeugt aus dem Verhältnis der Impedanzen der Mess- und Kompensationsspule ein Signal und wandelt die Hülsenposition in ein lineares elektrisches Ausgangssignal von 4 bis 20 mA

um. Dadurch werden Temperatureffekte im Wesentlichen kompensiert.

Die Wegaufnehmer der Reihe Indu-Sensor werden in der Automation, Qualitätssicherung, in Prüffeldern und der Fahrzeugtechnik eingesetzt. LVDT-Wegsensoren und -Messgeräte bestehen aus einer Primär- und zwei Sekundärspulen. Der LVDT-Wegsensor ist ein elektromechanischer Wandler, der die geradlinige Bewegung eines Objekts in ein elektrisches Signal umwandelt. Dabei ist das Objekt mechanisch mit dem Aufnehmer gekoppelt. Als Messobjekt fungiert ein stabförmiger Magnetkern. Dieser Kern bildet mit dem beweglichen Stößel oder der Sondenspitze eine Einheit. Ein elektronischer Oszillator versorgt die Primärspule mit einem Wechselstrom konstanter Frequenz. Die digitale Wandlung führt zum jeweiligen Ausgangssignal. Aufgrund dieses differenziellen Sensordesigns ist das Ausgangssignal der LVDT-Serie sehr stabil – insbesondere in der Mitte des Messbereichs.

Induktiver Taster mit kompaktem Kabelcontroller

Der induktive Taster Indu-Sensor DTD gehört ebenfalls zur LVDT-Reihe und ist für Serienlösungen in Maschinenbau und Automatisierung konzipiert. Das neue Sensorsystem besteht aus einem kompakten Taster und einem robusten Kabelcontroller. Aufgrund der hohen Genauigkeit und der robusten Bauweise ist der Indu-Sensor DTD für industrielle Messaufgaben prädestiniert.

Der Aufbau des Indu-Sensor DTD ist sowohl äußerst kompakt als auch einfach gehalten. Die induktiven Sensoren werden beispielsweise zur Qualitätskontrolle und Produktionsüberwachung eingesetzt, wo sie Auflösungen bis in den Mikrometerbereich erreichen. Der Taster und der Controller sind über ein 3 m langes Kabel verbunden, welches so widerstandsfähig ist, dass es auch für Schleppkettenanwendungen verwendet werden kann. Der Sensor liefert auch in rauen Industrieumgebungen präzise Ergebnisse und erreicht hohe Temperaturstabilität. Zudem ist er sowohl schock- als auch vibrationsresistent. Der Controller ist in einem robusten Edelstahlgehäuse untergebracht, welches Schutz gegen Schmutz und Feuchtigkeit bietet.

Justierung und Kalibrierung des Systems erfolgen werksseitig. Dies hat den



Vorteil, dass der Sensor per Plug & Play schnell einsatzbereit ist. Die Handhabung vereinfacht sich dadurch ebenfalls. Für den Einbau wird nur wenig Platz benötigt, weil der Sensor einen Durchmesser von 8 mm und der Controller von 18 mm besitzt. Über eine Montageklammer ist der Sensor schnell an der richtigen Position montiert. Erhältlich sind die Taster in den Messbereichen ± 1 mm, ± 3 mm, ± 5 mm und ± 10 mm. Das System verfügt über einen einstellbaren Strom- und Spannungsausgang sowie eine RS485 Schnittstelle.

Anwendungsgebiete induktiver Sensoren

Die Vielzahl der kompatiblen induktiven Wegsensoren und Messtaster von Micro-Epsilon eröffnet zahlreiche Anwendungsgebiete in der Automatisierungstechnik und im Maschinenbau. Möglich sind sowohl Inline- als auch Offline-Messungen. Die Sensoren können zudem auf einfache Weise an die Anforderungen der jeweiligen Messaufgabe angepasst werden beispielsweise durch verschiedene Montageleistungen sowie zahlreiche Dienstleistungen wie Justierung und Linearisierung verbunden mit Herstellerprüfzertifikaten. Das Standardportfolio bietet darüber hinaus ein modulares Baukastenprinzip,

nach welchem sich Sensoren der Reihen LVDT und LDR mit Ein-, Zwei- oder Mehrkanalcontrollern kombinieren lassen. Die Controller sind robust und industrieoptimiert konstruiert. Des Weiteren besteht die Möglichkeit die Sensoren per USB-Konverter-Kabel sowie über moderne digitale Schnittstellenmodule an Ethernet, Ether-CAT sowie Profinet anzubinden. Das Unternehmen bietet außerdem die Software Sensor-Tool die unter anderem Messdatenanzeige, Parametrierung, Skalierung, Visualisierung und Export ermöglicht. Mit hoher Reproduzierbarkeit und Temperaturstabilität bieten diese Sensoren eine einfache, präzise und langlebige Lösung. Das Preis-Leistungs-Verhältnis ist für Serienanwendungen optimiert.

Qualitätskontrolle in Produktionsprozessen

Die Einhaltung geometrischer Toleranzen bei mechanischen Bauteilen ist ein entscheidendes Qualitätsmerkmal. Die induktiven Sensoren ermöglichen eine 100%-Kontrolle in der Fertigung, Inline wie Offline. Sie prüfen dabei präzise verschiedene Parameter wie die Planarität, Stufenhöhe, Durchbiegung oder Dicke. Möglich sind Maßhaltigkeitsprüfungen sowie Vergleichsmessungen mit Gut-Teilen. Für diesen Prozess ist eine hohe Re-

produzierbarkeit nötig, die die induktiven Sensoren von Micro-Epsilon bieten. Zudem müssen häufig mehrere Messpunkte an einem Objekt geprüft werden, bei der die Multichannel-Lösungen von Micro-Epsilon von Vorteil sind.

Bei der Entwicklung von leistungsfähigen Baustoffen werden zahlreiche Materialtests durchgeführt. Zur geometrischen Prüfung sind induktive Wegsensoren von Micro-Epsilon im Einsatz, welche die Verformungen des Materials unter Belastung messen. Dazu zählen vor allem thermische Belastungen bei Temperaturtests aber auch mechanische Belastungen, etwa bei Zug- oder Durchbeigeversuchen.

Die Sensoren sind äußerst robust aufgebaut und überzeugen durch eine hohe Messgenauigkeit. Die Controller sind mehrkanalfähig und daher ideal geeignet, um mehrere Messsignale gleichzeitig aufzunehmen. ■

Dipl.-Ing.(FH)

Christian Niederhofer

ist Produktmanager /

Gruppenleiter Vertrieb

Sensorik bei der

Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG

94496 Ortenburg

Tel. (0 85 42) 1 68 - 0

www.micro-epsilon.de

SENSOREN FÜR MOBILE MASCHINEN

STARK – SICHER – EFFIZIENT



- Kompakte Safety-Drehgeber für Positions- und Geschwindigkeitsmessung
- Dynamische Neigungssensoren zur Winkel- und Neigungserfassung
- Positionssensoren für Hydraulikzylinder



IVT EXPO 2024
Halle 11.1, Stand 2030



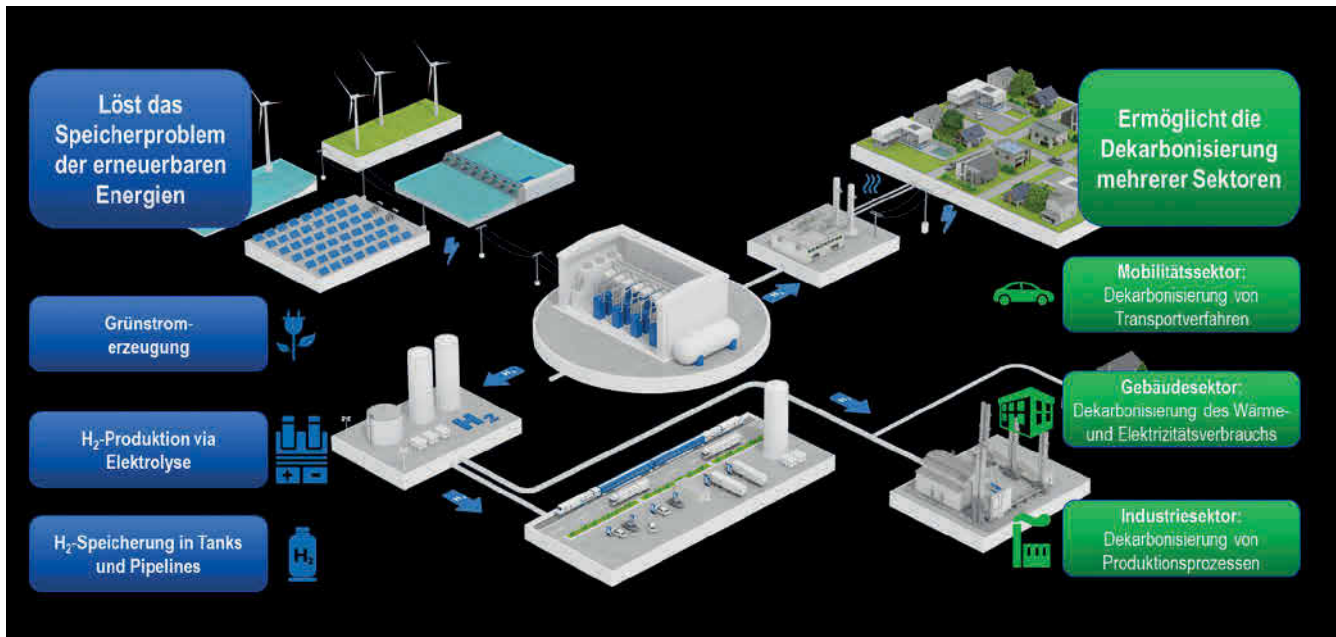


Bild 1: Weg der Produktion von grünem Wasserstoff hin zu zukünftigen Anwendungssektoren. Foto: TÜV SÜD

Wasserstoff als zukünftiger Energieträger

Werkstoffe und Komponenten für einen sicheren Einsatz mit Wasserstoff

Wasserstoff wird Erdgas künftig in fast allen industriellen Anwendungen nach und nach ablösen. Ob Systeme für den Umstieg schon bereit sind, hängt von der H₂-Beständigkeit ihrer Werkstoffe und Komponenten ab. Häufig fehlen jedoch verbindliche Vorgaben, um die Eignung für individuelle Projekte verlässlich zu beurteilen. Deshalb hat TÜV SÜD einen Prüfstandard mit zugehöriger Zertifizierung entwickelt, der Klarheit schafft.

TEXT: Christopher Tom Engler, Thomas Gallinger

Von April 2021 bis April 2022 stiegen die Großhandelspreise für Erdgas um 400 %. Der konjunkturellen Erholung nach Corona war der Ukraine-

Konflikt gefolgt. [1]. Der fossile Brennstoff ist bisher der wichtigste Energieträger für Deutschlands Industrie – angesichts der fortbestehenden Wirtschaftssanktionen gegen Russland ein Problem. Dabei hat Wasserstoff das Po-

tenzial, eine langfristig zuverlässige und bezahlbare Alternative zu sein. Der Einsatz von Wasserstoff stellt längst einen Teil der Grundlagen der europäischen zukünftigen Energiepolitik dar und Entwicklungen werden zunehmend gefördert

[2] [3] [4]. Wasserstoff bietet vielfältige Einsatzmöglichkeiten für eine umweltfreundlichere Wirtschaft – auch in weiteren Industriebranchen wie der Stahlproduktion oder im Mobilitätssektor.

Damit Wasserstoff fossile Energieträger künftig ergänzen oder ablösen kann, müssen die jeweiligen Systeme auf ihre Wasserstoffkompatibilität geprüft werden. Durch die Umstellung dürfen die eingesetzten Werkstoffe und Komponenten keine Beeinträchtigung der Lebensdauer erfahren. Davon betroffen sind vor allem metallische Werkstoffe, die atomaren Wasserstoff absorbieren können. Die Wasserstoffatome können sich an Inhomogenitäten der Mikrostruktur ansammeln und dort unter betriebsbedingter Zugspannung Versprödungen oder Risse verursachen [5]. Somit ist es ratsam, bereits während des Entwicklungsprozesses von Produkten oder Komponenten diese Einflüsse zu berücksichtigen.

Erfahrungswerte fehlen häufig

Ohne kompatible Werkstoffe und Komponenten für Wasserstoffsysteme entstehen Gefahren für den sicheren Betrieb, Inbetriebnahmen verzögern sich oder die Produktion kommt zum Erliegen. Ihre Auswahl ist oft weitaus komplexer als bei konventionellen Anwendungen. Denn im Gegensatz zu beispielsweise Erdgas beeinflusst Wasserstoff die Integrität vieler Metalle auf eine Weise, die noch nicht ausreichend erforscht ist. Daher deckt auch die Normenlandschaft das Thema Wasserstoffkompatibilität noch nicht vollständig ab. Die Anforderungen gängiger Regelwerke

sind meist allgemein gehalten oder beziehen sich nur auf einen bestimmten Industriezweig.

Beispielsweise schreibt die Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU vor, dass Werkstoffe gegenüber H₂ ausreichend chemisch beständig sein müssen, ohne Grenzwerte zu nennen [6]. In der Verordnung (EG) Nr. 79/2009 über die Typgenehmigung von wasserstoffbetriebenen Kraftfahrzeugen heißt es ebenso ganz allgemein, dass Werkstoffe im direkten Kontakt mit Wasserstoff kompatibel sein müssen [7]. Es werden im Rahmen der genannten Regelwerke auch keine spezifischen Nachweis- oder Prüfverfahren definiert, die für eine Validierung von Produkten herangezogen werden können.

H₂-Beständigkeit zuverlässig nachweisen

Um einen Konsens in der Industrie zu finden, hat TÜV SÜD gemeinsam mit Komponentenherstellern den Prüfstandard P-003 „Werkstoffbeständigkeit gegenüber Druckwasserstoff“ erarbeitet. Er basiert auf etablierten internationalen Regelwerken. Dazu zählen zum Beispiel die ISO/TR 15916 [8] mit grundsätzlichen Betrachtungen zur Sicherheit von Wasserstoffsystemen. Oder die ANSI/CSA CHMC-1-2014 [9], die Prüfmethoden zur Materialverträglichkeit von Metallen in Druckwasserstoffanwendungen definiert. Aber auch die ASME B31.12 [10] mit Anforderungen an Wasserstoff-Rohrleitungen und -Pipelines. Ergänzt wird der Prüfstandard mit Erkenntnissen aus der wissenschaftlichen Literatur.

Die Besonderheit liegt darin, dass die Zertifizierung immer anwendungsbezogen

mit Blick auf das Gesamtsystem, das die Randbedingungen vorgibt, erfolgt:

- Welche chemische Zusammensetzung und welches Gefüge haben die verwendeten Werkstoffe?
- Was ist ihr Einsatzbereich?
- Wie ist die Gaszusammensetzung des Wasserstoffs, der auf sie einwirkt?
- Bei einem Gas-Wasserstoff-Gemisch: Wie groß ist der Wasserstoffpartialdruck? Welcher Temperatur sind die Werkstoffe oder Komponenten ausgesetzt?

Neben der Spannung und dem Druck spielt nicht zuletzt auch die Betriebsweise eine wesentliche Rolle bei der Beurteilung der Wasserstoffkompatibilität.

Dadurch ist der Prüfstandard vielseitig und branchenunabhängig einsetzbar und bildet die Grundlage für Zertifizierungen sowohl im Mobilitätssektor – etwa bei Rohrleitungen in Brennstoffzellenfahrzeugen – als auch im stationären Bereich. Zu Letzterem zählen zum Beispiel der Transport in Pipelines, Hochdruckkomponenten bei Wasserstofftankstellen oder wasserstoffbetriebene Kraftwerke.

So läuft die Prüfung ab

Um Aufwände zu reduzieren, sichten die Experten zunächst die vorhandene Dokumentation: Enthält sie bereits Angaben zu Werkstoffeigenschaften, die Aussagen über die Beständigkeit gegenüber Druckwasserstoff ermöglichen? Andernfalls sind Werkstoffprüfungen erforderlich, die entweder in TÜV SÜD-eigenen oder Partner-Laboren stattfinden. Der Nachweis der Wasserstoffkompatibilität muss für jeden einzelnen Werkstoff einer Komponente erfolgen, die mit Wasserstoff

Ebene	Einflussparameter	Anforderungen	Herausforderungen
Werkstoff 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Partialdruck Wasserstoff ▪ Temperatur 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Werkstoffkompatibilität ▪ Keine Schädigung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einheitlicher Standard ▪ Viele Werkstoffe nicht untersucht
Komponente 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Leckage ▪ Leistung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Leckage Anforderungen ▪ Hohe Betriebsdauer 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Betriebseinfluss ▪ Sicherer Betrieb über gesamte Lebensdauer
System 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Leistung bei Versorgung ▪ Dauer bis Transformation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Betriebspunkt ▪ Effizienz Subsysteme 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kurzfristige Verfügbarkeit ▪ Vollumfängliche Abbildung ▪ H₂-Fähigkeit bei Retrofit

Bild 2: Anforderungskriterien bei einer H₂-Kompatibilitätsbewertung auf Werkstoff-, Komponenten- und Systemebene. Grafik: TÜV SÜD

Konstruktion und Anwendung

 <p>Anfälliger Werkstoff Eingeschränkte Zähigkeit Hohe Festigkeit Mikrostruktur</p>	 <p>Mechanische Belastung Konstruktiv Eigenspannungen</p>	 <p>H₂-Quelle Betriebsmedium Korrosiv Fertigungsprozess</p>
---	---	--

Werkstoffverhalten

 <p>HEDE <u>H</u>ydrogen <u>E</u>nhanced <u>D</u>ecohe<u>s</u>ion</p>	 <p>HELP <u>H</u>ydrogen <u>E</u>nhanced <u>L</u>ocal <u>P</u>lasticity</p>	 <p>HTHA <u>H</u>igh Temperature <u>H</u>ydrogen Attack</p>
---	---	---

Bild 3: Schematische Darstellung der Voraussetzungen für die wasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion. Grafik: TÜV SÜD

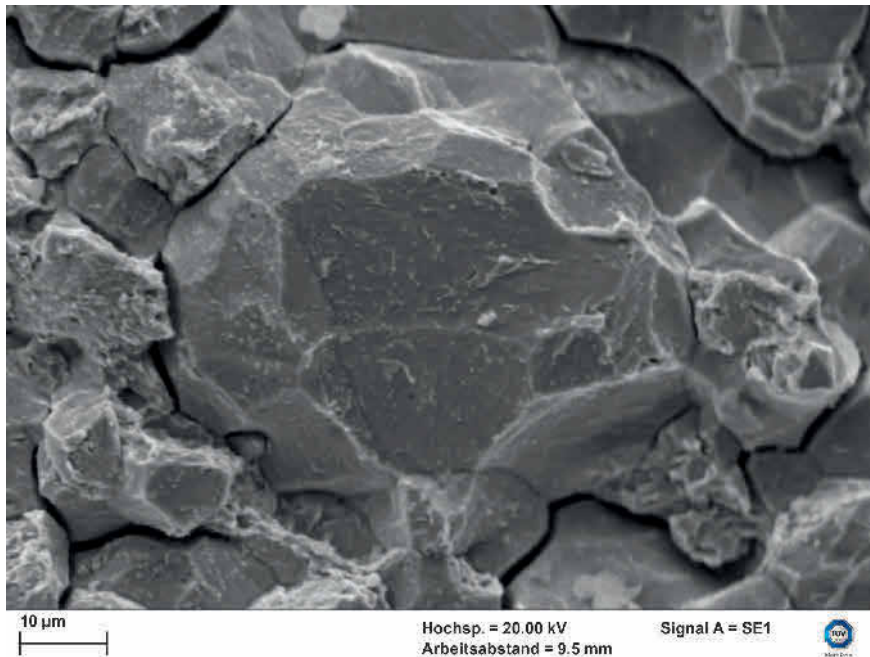


Bild 4: Ein schlagartig auftretendes Materialversagen unter Einwirken von Wasserstoff. Foto: TÜV SÜD

in Berührung kommt. Je nach Einsatzbereich und Werkstoffart kommt eine Auswahl folgender Prüfmethoden zur Anwendung:

- Slow Strain Rate Tensile Tests in Wasserstoff: Zugversuche mit langsamer Dehnrates unter Druckwasserstoff, um die Duktilität zu untersuchen

chen und eine Werkstoffselektion zu ermöglichen.

- Ermüdungsversuche in Wasserstoff, um den Einfluss auf die Lebensdauer von Werkstoffen bewerten zu können.
- Bruchmechanische Untersuchungen in Wasserstoff, um Aussagen über das Risswachstumsverhalten in Werkstoffen zu erhalten: Wie lässt sich die zyklische Beanspruchbarkeit charakterisieren?
- Druckzyklusprüfungen an kompletten Komponenten, um die Lebensdauer unter Realbelastungen zu bestimmen.
- Für Kunststoffe wird die chemische Beständigkeit und das Permeationsverhalten in Wasserstoff untersucht.

Anschließend überprüfen TÜV SÜD-Experten in jährlichen Audits, ob das Unternehmen alle zertifizierten Prozeduren eingehalten hat. So stellen sie die Werkstoffbeständigkeit langfristig sicher.

Produkteentwicklung beim Umstieg begleiten

Eine geeignete Werkstoffauswahl sollte nach Möglichkeit bereits in frühen Phasen eines neuen Produktentwicklungsprozesses durchgeführt werden, damit eine Auslegung unter Berücksichtigung der Einflüsse durch Wasserstoff betriebswirtschaftlich sinnvoll ist. Oft beinhalten Entwicklungsprojekte die Umwidmung von bereits für andere Medien validierten und etablierten Produkten oder Komponenten für Wasserstoffanwendungen. Für den zweiten Fall ist zu prüfen, inwiefern bereits durchgeführte Validierungsschritte für eine Kompatibilitätsbewertung mit Wasserstoff verwendet werden können. Insbesondere seien hier Leckagemessungen und Berstdruckversuche für mobile und stationäre Anwendungen mit anderen Gasen angemerkt, vgl. ISO 12619 [11] und ISO 19880 [12].

Zertifikate oder Prüfungen der Sublieferanten von zum Beispiel Dichtungen hinsichtlich des Nachweises einer chemischen Beständigkeit in Wasserstoff können ebenfalls für eine Kompatibilitätsbewertung herangezogen werden, wenn eine normkonforme Durchführung stattgefunden hat, vgl. ANSI CSA-CHMC 2 [13], DIN EN ISO 53536 [14] und ISO 17268 [15]. Durch einen Austausch und eine Sichtung der vorliegenden Dokumente kann eine produkt- und anwendungsrelevante

Prüfstrategie entwickelt werden, die normübergreifende Prüfungen beinhaltet. Durch eine vergleichende normübergreifende Bewertung der Kritikalität der Prüfungen kann das Reduktionspotential hinsichtlich des Prüfaufwands ermittelt werden.

Fazit und Ausblick

Mit dem TÜV SÜD-Prüfstandard P-003 lassen sich zuverlässige Aussagen zur Wasserstoffkompatibilität von Werkstoffen und Komponenten treffen – ganz gleich für welche Branche. Hersteller, Planer und Betreiber profitieren von einer Bewertung und Zertifizierung von unabhängiger Seite, die stets ihren individuellen Anwendungsfall berücksichtigt. Durch eine branchenrelevante Festlegung von Prüfungen auf Werkstoff- und Produktebene unter Berücksichtigung bereits vorhandener Validierungsschritte kann der Aufwand und letztendlich die Markteintrittsbarriere reduziert werden. Dies führt zusätzlich zu einer Identifizierung von potenziellen weiteren Branchen und erhöht somit das Marktpotenzial des Produkts durch eine Minimierung des Produkthaftungsrisikos. ■

Literatur

- [1] www.stromauskunft.de/verbraucherservice/gaspreise-2022/, abgerufen am 11.04.2024
- [2] <https://www.bmwk.de/Navigation/DE/Gruene-Industrie/home.html>, abgerufen am 11.04.2024
- [3] https://www.clean-hydrogen.europa.eu/index_en, abgerufen am 11.04.2024
- [4] https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de, abgerufen am 11.04.2024
- [5] R. P. Gangloff, B. P. Somerday: Gaseous hydrogen embrittlement of materials in energy technologies, Woodhead Publishing Limited, 2012
- [6] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0068>, abgerufen am 11.04.2024
- [7] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02009R0079-20090204>, abgerufen am 11.04.2024
- [8] ISO/TR 15916:2015, Basic considerations for the safety of hydrogen systems, 2015
- [9] ANSI/CSA CHMC 1, 2014-01-01: Test methods for evaluating material compatibility in compressed hydrogen applications – Metals, 2014
- [10] ASME B31.12, 2019-01-01, Hydrogen Piping and Pipelines, ASME Code for Pressure Piping, B31, 2019
- [11] DIN EN ISO 12619-1:2016, Road vehicles, Compressed gaseous hydrogen (CGH2) and hydrogen/natural gas blends fuel system components, Part 1: General requirements and definitions, 2016
- [12] ISO 19880-1:2020, Gaseous hydrogen – Filling stations – Part 1: General requirements, 2020
- [13] ANSI/CSA CHMC 2, 2019-08-01: Test methods for evaluating material compatibility in compressed hydrogen applications – Polymers, 2019
- [14] DIN EN ISO 53536:1992-10: Prüfung von Kautschuk und Elastomeren; Bestimmung der Gasdurchlässigkeit, 1992
- [15] ISO 17268:2020: Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices, 2020



Dr. Christopher Tom Engler
 Material Expert
 H2-Readiness
 Foto: TÜV Süd
 Tel. (0 89) 57 91 – 14 21
christophertom.engler@tuv-sud.com

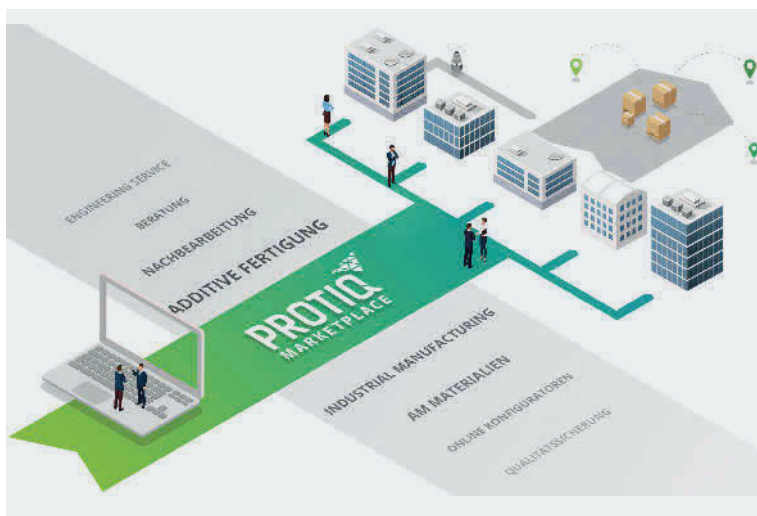


Dr. Thomas Gallinger
 Leiter der Abteilung Wasserstoffprojekte
 Foto: TÜV Süd
thomas.gallinger@tuvsud.com

Kontakt

TÜV SÜD Industrie Service GmbH
 80686 München
www.tuvsud.com/hydrogen

Vorschau 6/7-2024



Über die vollständig digitalisierte Prozesskette bis zur Bestellung können die Anwender die Vorteile der schnellen und individuellen additiven Fertigung vollständig ausnutzen.

Foto: Phoenix

Additive Fertigung

Die additive Fertigung – auch 3D-Druck genannt – hat sich bereits in vielen Branchen in die Produktionsprozesse integriert. Mittlerweile gibt es zahlreiche Online-Plattformen, die den 3D-Druck von Bauteilen anbieten. Etablierte Marktplätze setzen deshalb auf das Angebot weiterer Funktionen – wie vielfältige Herstellungsverfahren und Materialien sowie eine Bauteilvisualisierung, um den Anwendern das bestmögliche Angebot bereitzustellen.

Multifunktionscontroller

SPS sind oft das Mittel der Wahl, wenn es um die Erstellung von Ablaufsteuerungen für industrielle Prozesse geht, können aber oft nur von Experten bedient werden. Ein Multifunktionscontroller kann eine Alternative sein, die die Lücke zwischen SPS und einfachen Reglern füllt.



Bild 1: Unter kryogenen Bedingungen werden carbonfaserverstärkte Kunststoffe charakterisiert und weiterentwickelt. Foto: Faserinstitut Bremen e.V. (FIBRE)

Sicherheit und Emissionsfreiheit im Flugverkehr

Faserinstitut Bremen untersucht Einfluss von Wasserstoff auf Luftfahrtmaterialien

In der Luft- und Raumfahrtbranche sind Materialien von entscheidender Bedeutung. Sie müssen den hohen Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen entsprechen, leicht und widerstandsfähig sein sowie extremen Temperaturschwankungen standhalten können. Wasserstoff spielt eine immer bedeutendere Rolle auf dem Weg zu einer emissionsfreien Luft- und Raumfahrt. Das Faserinstitut Bremen untersucht im Forschungs- und Entwicklungszentrum Ecomat mithilfe von ZwickRoell-Prüflösungen das Verhalten von Materialien in Verbindung mit Wasserstoff im Tiefsttemperaturbereich bis 20 K. Die gewonnenen Erkenntnisse tragen zur Entwicklung fortschrittlicher Materialien bei.

Bremen ist ein Schlüsselstandort in der europäischen Luft- und Raumfahrtindustrie, nicht zuletzt aufgrund von Unternehmen wie Airbus Group,

Ariane Group und das DLR. Das Forschungs- und Technologiezentrum Ecomat, gegründet im Jahr 2019, hat die Bedeutung des Standorts weiter gestärkt und bietet eine Plattform für interdisziplinären Austausch zwischen Forschern und Inge-

nieuren aus verschiedenen Unternehmen. Das Faserinstitut Bremen e.V. (FIBRE) betreibt im Ecomat Forschung im Bereich Kryotechnik, wobei Ingenieure und Wissenschaftler der Luft- und Raumfahrtindustrie zusammenarbeiten, um Aktivitäten

im Bereich Kryotechnik zu koordinieren und carbonfaserverstärkte Kunststoffe unter kryogenen Bedingungen zu charakterisieren und weiterzuentwickeln. „Dies sind Schlüsselherausforderungen bei der Entwicklung innovativer Technologien im Zusammenhang mit Wasserstoff und klimaneutralem Fliegen“, wie Dr. Ernő Nemeth, Laborleiter am Faserinstitut Bremen e.V. (FIBRE), erläutert.

Bruchmechanik im kryogenen Umfeld

Im kryogenen Umfeld wird Wasserstoff bei Temperaturen von 20 K (-253 °C) flüssig und ist in diesem Zustand einfacher zu handhaben. Daher ist es von großer Bedeutung, Werkstoffe zu charakterisieren, die Wasserstoff ausgesetzt sind und gleichzeitig extremen Temperaturen standhalten müssen. Mittels statischer Zug-, Druck- oder Scherbelastungsprüfungen werden diese Materialien bei Tiefsttemperaturen bis 20 K analysiert, um ihr Ermüdungs- und bruchmechanisches Verhalten in diesem Umfeld zu bestimmen. Eine konkrete Anwendung sind die Composite-Wandungen von Tanks, die großen thermischen Schwankungen und wechselnden Drücken ausgesetzt sind, was zu Materialbelastungen und Undichtigkeiten führen kann aufgrund unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten und bereits im Herstellungsprozess entstandener Spannungen.

Prüflösung gewährleistet reproduzierbare Ergebnisse

Um den Anforderungen des Faserinstituts Bremen bei kryogenen Wasserstoffprüfungen gerecht zu werden, entschied man sich für standardisierte und vielseitig einsetzbare Materialprüfmaschinen von ZwickRoell. Diese ermöglichen die Charakterisierung unterschiedlicher Materialien bei Tiefsttemperaturen und gewährleisten eine hohe Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, unabhängig von den geforderten Prüfkräften und Belastungen in der Qualitätssicherung und Forschung. Stefan Pubantz, Projekt Manager Kryo- und Wasserstofftechnologie bei ZwickRoell, erläutert, dass verschiedene Kryostatlösungen gewählt wurden, „die Prüfungen sowohl bei 77 K als auch von Raumtemperatur stufenlos bis 20 K ermöglichen.“

Ein speziell entwickeltes Lastjoch taucht den Probenhalter mit der einge-



Bild 2: Die Prüflösung ermöglicht eine Vielzahl von Versuchen an Faserverbundwerkstoffen, darunter Zug-, Druck- und Biegeversuche in Flüssig-Stickstoff. Foto: Faserinstitut Bremen e.V. (FIBRE)

spannten Probe in den Tiefsttemperaturbereich und gewährleistet so größtmögliche Temperaturkonstanz. ZwickRoell-Kryostate verfügen optional über ein Sichtfenster, um die Dehnungen und Verformungen der Probe mittels optischer Messtechnik des Video-Xtens von außen und berührungslos zu erfassen. Die Prüfsoftware Test-Xpert unterstützt bei der

Steuerung, Datenerfassung und -auswertung.

Spezielle Werkzeuge für die Probenaufnahme

Die Versuche bei kryogenen Temperaturen bis -253 °C erfordern eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit den her-

kömmlichen Standardversuchen, die bei Temperaturen von -55°C bis $+120^{\circ}\text{C}$ und bei Raumtemperatur durchgeführt

werden. Außerdem stellen solch niedrige Temperaturen eine Herausforderung für die verwendeten Materialien und die be-

nötigten Dehnungs- und Wegmesssysteme dar. Spezielle Werkzeuge wurden entwickelt, um Proben aufzunehmen, die Kräfte



Ingenieurin mit Schutzausrüstung des Bremer Faserinstituts beim Begutachten einer Probe. Foto: Faserinstitut Bremen e.V. (FIBRE)

FASERINSTITUT BREMEN E.V.

Das 1969 gegründete Faserinstitut Bremen e.V. (FIBRE) mit Sitz in Bremen ist seit vielen Jahren aktiv in der Erforschung und Entwicklung von Fasermaterialien und deren Anwendungen. Es ist spezialisiert auf Hochleistungs-Verbundwerkstoffe, Fertigungstechnologien, Faserentwicklung, Qualitätssicherung sowie Materialentwicklung und -charakterisierung und betreibt in Bremen zwei Standorte: Neben dem Ecomat auch einen an der Bremer Universität. Die Hauptaufgabe besteht darin innovative Lösungen für die Industrie zu entwickeln, darunter Unternehmen aus Automobil-, Bau-, Medizin und Textilindustrie sowie Luft- und Raumfahrt, und zur Verbesserung von Faserprodukten beizutragen in puncto Materialentwicklung, Produktoptimierung, Qualitätskontrolle und Prozessverbesserung. Ziel ist es die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie durch die Bereitstellung wissenschaftlicher Erkenntnisse, technischer Expertise und innovativer Lösungen zu stärken. Das Faserinstitut Bremen verfügt über moderne materialwissenschaftliche Labore mit akkreditierten Prüfverfahren und verschiedensten Technikum- anlagen für die Faserherstellung, Kunststoffverarbeitung und CFK-Fertigung.



Bild 3: Autoklav mit der zu prüfenden Probe im Innern. Foto: Faserinstitut Bremen e.V. (FIBRE)

und Wegmessungen präzise durchführen und den Laststrang ausrichten. Die Prüfsysteme ermöglichen eine breite Palette von Versuchen an Faserverbundwerkstoffen, darunter Zug-, Druck- und Biegeversuche sowie die Bestimmung der Interlaminaren Scherfestigkeit (ILSS) und der kritischen interlaminaren Energiefreisetzungsraten G_{1c} (unter Mode I Belastung) und G_{2c} (unter Mode II Belastung).

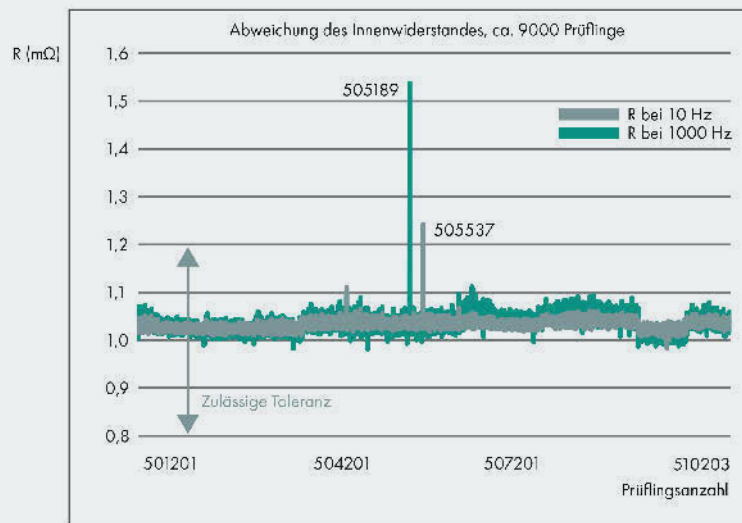
Dr. Ernő Nemeth betont, dass ZwickRoell durch sein Produktportfolio die Anforderungen des Faserinstituts Bremen optimal erfüllt habe, sodass die Forschung und Zusammenarbeit mit Industriepartnern im Bereich Luft- und Raumfahrt die Möglichkeit biete, Materialcharakterisierungen bei extremen kryogenen Temperaturen durchzuführen. Nemeth: „Die gelieferten Prüfsysteme zeugen von herausragender Fachkenntnis und wurden präzise an unsere spezifischen Anforderungen angepasst.“ ■

Kontakt

ZwickRoell GmbH & Co.KG
89079 Ulm

Wolfgang Mörsch
wolfgang.moersch@zwickroell.de

AC- UND DC-INNENWIDERSTANDSMESSUNG



Ausreißer mit enormen Abweichungen, nur beide Messwerte geben Aufschluss über die Batteriequalität.

Bild 1: In Batterien verbaute Zellen müssen möglichst identische Parameter aufweisen. Foto: Burster

100%-Qualitätskontrolle in Sekundenbruchteilen

Batterietest- und Messmodule für die Automatisierung

Ob Telekommunikation, Werkzeuge, Freizeit oder Elektromobilität – viele moderne Geräte und Fahrzeuge arbeiten heute netzunabhängig mit Akkus. Damit diese zuverlässig funktionieren, müssen die einzelnen Akkuzellen möglichst homogene elektrische Eigenschaften haben und auch ihre mechanischen Verbindungen zu 100 % geprüft werden. Weil für größere Batterien zum Teil hunderte Einzelzellen nötig sind, müssen die Messungen für die Zellenbewertung schnell, zuverlässig und sicher im Fertigungsprozess ablaufen. Moderne Industrie 4.0-taugliche Messgeräte für alle relevanten Parameter rund um die Einzelzell-Bewertung schaffen dafür die Voraussetzung.

TEXT: Andreas Zeiff

Eine Batterie ist ein Zusammenschluss gleicher Einheiten, bei elektrischen Batterien von einzelnen Akkuzellen, um im Verbund eine höhere Spannung

oder Kapazität zu erzielen. Dadurch ist eine Batterie aber nur so gut wie die schwächste verbaute Akkuzelle. Batteriehersteller müssen daher alle Einzelzellen und sämtliche vorkonfigurierten Einzelmodule für die laufende Produktion auf

ihre exakten Eigenschaften prüfen und in Qualitätsgruppen klassifizieren. Beim Akku eines Elektroautos beispielsweise sind jedoch meist einige hundert Zellen in mehreren Modulen verbaut. Diese große Anzahl in möglichst kurzer Zeit zu

prüfen, stellt besondere Anforderungen an die Messtechnik. Langjährige Erfahrung beim Einsatz von elektrischen und mechanischen Messverfahren ist Voraussetzung, um die für die Batterieproduktion wesentlichen Eigenschaften in einer Messgerätefamilie zusammenzufassen. Die modernen Geräte können dann einzeln oder im Verbund eingesetzt werden. Sie sind Industrie 4.0-tauglich und lassen sich einfach mit den gängigen Feldbussen verbinden, in Fertigungsanlagen integrieren oder für Forschung und Entwicklung einsetzen.

Elektrische Eigenschaften bei Einzelzellen prüfen

An erster Stelle stehen bei der Zellenprüfung die individuellen elektrischen Eigenschaften der Einzelzellen. Wird in Reihenschaltung eine Zelle mit niedriger Kapazität verbaut, so kann der ganze Zellverbund insgesamt nur die niedrige Strommenge abgeben. Es kann auch zum Totalausfall führen, weil die Zelle mit geringerer Kapazität zuerst voll ist, die anderen aber weiter geladen werden und dabei die Zelle mit der geringsten Kapazität überhitzt. Auch beim Entladen kann die abweichende Zelle überhitzen. Ein weiteres Problem sind abweichende Innenwiderstände, die zu ungleichmäßiger Ladung und Erwärmung der Zellen führen. Daher müssen in Batterien verbaute Zellen möglichst identische Parameter aufweisen (**Bild 1**). Weil Akkupacks aus Einzelzellen verschiedener Formate (rund, Pouch, prismatisch) aufgebaut werden, muss die Messtechnik alle Varianten testen können.

Bei oft tausenden von Einzelzellen ist ein hoher Durchsatz bei der Kontrolle unverzichtbar. Der Messgeräte-Einsatz in der automatisierten Fertigungsprüfung von Batteriezellen für eine lückenlose 100%ige Qualitätssicherung in Sekundenbruchteilen erfordert daher umfangreiches Know-how. Ein extra für solche Aufgaben entwickeltes Messgerät ist das All-in-One-Modul 2511 (**Bild 2**) des Messtechnikspezialisten Burster. Es bietet außer einer AC-/DC-Innenwiderstandsmessung mit Werten von $0,1 \mu\Omega$ bis $300 \text{ m}\Omega$ in vier Messbereichen von 10 bis $300 \text{ m}\Omega$ eine Vierleiter-Messmethode für höchste Präzision und erlaubt, Mess- und Bewertungsergebnisse in kürzester Zeit zu generieren. Die Messungen können im Frequenzbereich von 1 kHz , 100 Hz , 10 Hz , 1 Hz und bei Spannungen von 0 bis

$\pm 5 \text{ V}_{\text{DC}}$ durchgeführt werden. Das kaskadierbare Batteriemessmodul erlaubt über Ein- bis Vielkanalanwendungen und Temperaturmessung in nur wenigen Millisekunden Aussagen zu Elektrolyt- und Elektrodenqualität im Vergleich zu den

Herstellersollvorgaben. Die kompakte Bauweise sowie die Feldbus-Schnittstellen Profinet und Ether-CAT ermöglichen die einfache Integration in die Produktion. Eine darauf abgestimmte PC-Software zur intuitiven Parametrierung/Konfiguration



Bild 2: Das All-in-One-Modul 2511 ist für den Einsatz in der automatisierten Fertigungsprüfung von Lithium-Ionen-Batteriezellen für eine lückenlose Qualitätssicherung prädestiniert. Foto: Burster

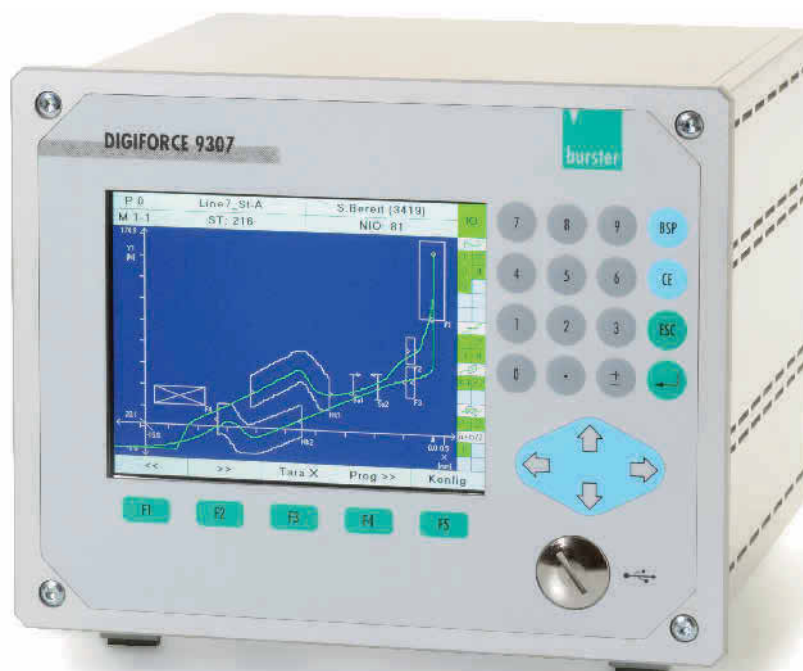


Bild 3: Beim Erfassen und Validieren der Fügekräfte mit dem X/Y-Prozess-Controller Digiforce 9307 fallen eventuelle Fügefehler sofort auf. Foto: Burster



erleichtert das Erstellen individueller Messprogramme.

Bei Akkupacks müssen die einzelnen Zellen verbunden werden. Dazu werden starre Busbar-Verbinder, Leitungen oder Federkontakte an die Zellen gedrückt, geschraubt, geschweißt oder verpresst. Dabei gilt es, vorgegebene Übergangswiderstände sehr genau einzuhalten, um Verlustleitung und Eigenerwärmung des Akkus zu minimieren. Bei den hohen Stückzahlen in der Fertigung sind auch dabei Messgeräte mit sehr schneller Auswertungslogik gefragt.

Messtechnik für sehr schnelle Anwendungen

Mit bis zu 100 Messungen pro Sekunde ist der Resistomat Typ 2311 von Burster auf die Anforderungen von High-Speed-Anwendungen in der Automation zugeschnitten. Zuleitungs- oder Übergangswiderstände an den Prüfkontakten werden durch die Vierleiter-Messmethode eliminiert. Eine integrierte Kabelbrucherkennung überwacht die Messleitungen. Trotz eines Messbereichs von 20 mΩ bis 200 kΩ bei einer Auflösung bis 1 μΩ und einer Messgenauigkeit ≤ 0,03 % v.M. erreicht das Prüfgerät Highspeed-Messungen ab 10 ms pro Messung inklusive Bewertung. Die Klassifizierungen und Selektierungen übernimmt ein 2- und 4-fach-Komparator mit Schaltausgängen. Alle Geräteeinstellungen können individuell in bis zu 32 unterschiedlichen Messprogrammen parametrisiert werden, wahlweise auch über die Ethernet-, USB- (Standard) oder Feldbus-Schnittstellen (Option). Der integrierte Datenlogger kann bis zu 900 Messwerte pro Messprogramm abspeichern.

Mechanische Messwerte bestimmen

Auch mechanische Kenngrößen sind bei der Akkufertigung wichtig. So lässt sich in der Fertigungslinie durch Messen von Anzugdrehmomenten und Anzugskräften sicherstellen, dass Kontaktflächen sicher montiert sind und die Übergangswiderstände möglichst klein ausfallen. Auch beim Verpressen von Hochstromkontakten auf Leiterplatten oder Einschieben einzelner Zellen in Halteröhren oder Boxen gilt es, die auftretenden Kräfte zu messen. Erfassen

und Validieren der Fügekräfte decken eventuelle Fügefehler sofort auf. Eine Kraft/Weg-Einpressüberwachung mit Fenster- und Hüllkurventechnik erlaubt zum Beispiel die Erfassung von Min/Max-Spitzenwerten und Kraft-Mittelwerten in einem parametrisierten Toleranzbereich. Mit dem X/Y-Prozess-Controller Digiforce 9307 (Bild 3) sind solche Prüfmethode einfach umzusetzen. Über eine Anbindung via Profinet, Ether-CAT, Ethernet/IP und Ethernet UDP unterstützt das Modul eine flexible Ablaufsteuerung und Messdatenerfassung. Bis zu 128 Messprogramme ermöglichen eine hohe Produktvarianz. Wird beispielsweise für das Einsetzen einzelner Zellenplatten/Zellenblöcke in ein Zellengehäuse der Kraft-Weg überwacht, können für die Optimierung der Taktzeit immer mehrere Einheiten gleichzeitig gefügt und mit Hilfe von kaskadierten Digiforce-Controllern jede einzelne Platte erfasst und ausgewertet werden.

Langzeitüberwachung des Ausdehnungsverhaltens

Doch nicht nur zeitkritische Messungen in der Fertigungslinie sind wichtig, auch für Labormessungen zum Batterieverhalten von Einzelzellen und Akkupacks, beispielsweise in der Entwicklung oder für Stichprobenkontrollen, werden Messgeräte gebraucht. Damit lassen sich auch mechanische Messwerte zur Langzeitbeobachtung beispielsweise der Ausdehnung bei Lade- und Entladezyklen oder der Bestimmung der auftretenden Kräfte mit Überwachung der Temperaturen oder zur Optimierung der Druckverteilung und Lebensdauer leicht bestimmen. Der Burster Druckkraftsensor 8526 eignet sich aufgrund der kleinen Bauform und drei Befestigungsbohrungen für solche Auf-

gaben in unterschiedlichen Anwendungsgebieten. Selbst Winkelfehler in der Krafteinleitung bis zu 3° Abweichung zur Messachse beeinflussen das Messergebnis nur sehr gering. Sein breites Messbereichsspektrum von 0 bis 100 N bis 0 bis 1 MN erlaubt nicht nur bei Akkuzellen zum Beispiel die genaue Erfassung der Kräfte oder die Ausdehnung mit der Temperatur beim Laden und Entladen der Zellen. Das wiederum gestattet eine exakte Bewertung des Langzeitverhaltens und des Alterungsprozesses. ■



Dipl. Chem.
Andreas Zeiff
Redaktionsbüro Stutensee
Foto: RBS

Kontakt
Burster Präzisionsmesstechnik GmbH & Co.KG
76593 Gernsbach
info@burster.com
www.burster.com



AMO GmbH

Inductive Encoder

- Unempfindlich gegen Montageeinfluss
- Verbesserte Performance
- Hohe Auflösung
- Hohe Drehzahl



AMO Automatisierung Messtechnik Optik GmbH
Nöfing 4 ■ 4963 St. Peter am Hart
office@amo.at ■ +43/7722/65856-0
www.amo-gmbh.com



Der o450 zur direkten Integration in die Förderanlage ist aufgrund des Vernier-Prinzips leise im Betrieb. Foto: Lenze

Motorrolle zur direkten Integration in die Förderanlage

Die Automatisierungsspezialisten von Lenze haben nach eigenen Angaben eine revolutionär neuartige Motorrolle (MDR) entwickelt. Der o450 zur direkten Integration in die Förderanlage leistet 115 Watt und sei damit mehr als doppelt so leistungsfähig wie vergleichbare Systeme am Markt. Aufgrund des Vernier-Prinzips sei der MDR leise im Betrieb. Mit 30 % Energieeinsparung im Vergleich zu konventionellen Motorrollen überzeuge er zudem in Sachen Nachhaltigkeit.

Aufgrund des speziellen Designs hat der Motor den Angaben zufolge in Summe deutlich niedrigere Kupfer- sowie Eisenverluste, wodurch weniger Wärme in der Rolle anfällt. Das wiederum wirkt sich positiv auf den Wirkungsgrad aus, weil kühlere Kupferwicklungen einen kleinen Widerstand (und damit geringere Kupfer-Verluste) haben. Die kühleren Magnete haben eine höhere magnetische Flussverketzung und können mit kleinerem Strom das gleiche Drehmoment erzielen. Je nach Drehzahl würde der MDR daher die Effizienzklassen IE7 – IE9 erfüllen und der Kunde könnte bis zu 30 % Energie im Vergleich zu klassischen Systemen einsparen.

Der o450 von schaff, so Lenze weiter, bis zu 30 kg und bietet auch bei niedrigen Drehzahlen das volle nominale Drehmoment, was für das Beschleunigen von Fördergut enorm vorteilhaft ist.

Der sogenannte Vernier-Motor überträgt seine Rotationsenergie über seinen Rotor direkt auf das Fördergut oder das Förderband oder den -gurt. Der Motor selbst kombiniert einen 3-Phasenwechselstrommotor mit einem magnetischen Getriebe. Der Vorteil zu einem klassischen Antriebssystem: Die Motorrolle arbeitet mit 24V oder 48V und das bedeutet, dass auch Nicht-Elektriker den Motor tauschen, warten oder einbauen dürfen.

Weil außer den Lagern keine beweglichen Teile zum Einsatz kommen und die üblichen Getriebegeräusche wegfallen, ist der o450 außergewöhnlich leise, so Lenze weiter. Gleichzeitig sinke aufgrund des getriebelosen Antriebs die Varianz im System. Das spart Ressourcen im Handling, minimiert den Konstruktionsaufwand und entlastet das Ersatzteillager. Zudem reduziert sich auch der Verkabelungsaufwand erheblich.

www.lenze.com

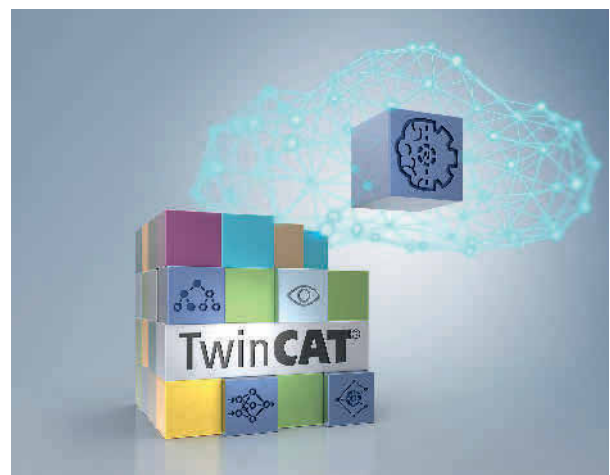
Automatisiert von den Daten zum KI-Modell

Der Twin-CAT Machine Learning Creator von Beckhoff richtet sich an Automatisierungs- und Prozessexperten und ergänzt den Workflow in Twin-CAT 3 um die automatisierte Erstellung von KI-Modellen. Wie das Unternehmen ausführt, können die Anwender damit den gesamten Prozess von der Datenaufnahme bis zum trainierten Modell selbst übernehmen – ohne über eigenes KI-Expertenwissen zu verfügen. Das fertige Modell sei hinsichtlich Latenz und Genauigkeit optimal an die Echtzeitanforderungen im Steuerungsumfeld angepasst.

Eine ideale Anwendung von Twin-CAT Machine Learning Creator (TE3850) ist den Angaben zufolge beispielsweise die KI-gestützte Bildverarbeitung in der Qualitätssicherung. Diese und auch alle weiteren Einsatzbereiche profitieren davon, dass sich über die No-Code-Entwicklungsplattform KI-Modelle für die Automatisierung einfach und standardisiert erstellen lassen. Dabei werden offene Standards, Schnittstellen und Best Practices genutzt sowie die trainierten Modelle im offenen Standardformat ONNX bereitgestellt. Diese latenzoptimierten KI-Modelle für Steuerungsanwendungen werden für die Ausführung auf Beckhoff IPCs und mit Twin-CAT-Produkten abgestimmt, können als ONNX-Modelle jedoch auch außerhalb der Beckhoff Produktwelt eingesetzt werden.

Aufgrund des nun möglichen automatisierten Erstellens der KI-Modelle erschließe sich das Potenzial der künstlichen Intelligenz nun für alle, das heißt auch für kleinere Unternehmen – mit allen Vorteilen für die eigene Wettbewerbsfähigkeit oder im Umgang mit dem zunehmenden Fachkräftemangel. Weiterhin ergeben sich für den KI-Experten eine deutliche Arbeitserleichterung und Fehlerminimierung. Hinzu kommt, so Beckhoff weiter, die beschleunigte Projektentwicklung, zumal das Entwicklungswerkzeug auch weitreichende Methoden bereitstellt, um das Verhalten der erstellten Modelle transparent darzustellen und Modelle miteinander zu vergleichen. Eine automatisierte Report-Generierung unterstützt Auditierungsprozesse für die KI-Modellerstellung. Ein weiterer wichtiger Aspekt: Die erforderlichen applikationsspezifischen Daten verbleiben im Unternehmen und sind somit geschützt, heißt es weiter.

www.beckhoff.com



Twin-CAT Machine Learning Creator ermöglicht das automatisierte Training von KI-Modellen für industrielle Anwendungen. Foto: Beckhoff

Evaluation Kit für Füllstandssensoren

EBE sensors+ motion bringt das Evaluation Kit für Füllstandssensoren auf den Markt. Ziel sei es, Anwendern ohne tiefgreifende technische Kenntnisse die Möglichkeit zu geben, schnell und unkompliziert valide Messergebnisse zu erzielen. Das Herzstück des Kits ist laut EBE eine Software, die speziell entwickelt wurde, um die Benutzung des Füllstandssensors so intuitiv wie möglich zu gestalten. Die Einrichtung erfolgt in wenigen Schritten: Nach dem Download der Control Software von der EBE-Homepage und dem Verbinden des Sensors über das beiliegende Interface kann der Anwender direkt starten. Weitere Ausrüstung, Schnittstellen oder Software für Datenauswertung werde nicht benötigt. Diese Zugänglichkeit ist besonders für jene von Vorteil, die sich schnell und effizient mit der Funktionsweise des Sensors vertraut machen möchten. Durch die Verwendung des Evaluation Kits wird die Anbindung und Kommunikation mit dem Füllstandssensor zum Kinderspiel, so EBE weiter.

Die grafische Benutzeroberfläche der Software bietet eine detaillierte Darstellung der Messwerte, die über den Sensor erfasst werden. Aufgrund von Funktionen wie Zoom- und Bewegungsfunktionen des Graphen können Anwender die Daten genauer betrachten und analysieren. Eine Übersicht aller relevanten Informationen zum Sensor sei stets verfügbar, was die Bewertung der Sensorleistung erleichtert. Eine weitere Funktion ist die Möglichkeit, Messwerte einfach aufzuzeichnen und in gängigen Formaten wie .csv oder .xls zu speichern. Dies ermöglicht eine effiziente Weiterverarbeitung und Analyse der Daten, was besonders für Elektronikentwickler von großem Nutzen sei.

Die Software erlaubt es dem Anwender, den Sensor eigenständig für die Nutzung mit PWM (Pulsweitenmodulation) zu konfigurieren, führt EBE aus. Die Messbereichsgrenzen können individuell eingestellt werden, um den Sensor optimal an die jeweiligen Anforderungen anzupassen. Bei der Konfiguration der PWM-Grenzwerte steht die Software unterstützend zur Seite, was den Prozess erheblich vereinfacht. Danach kann der Sensor direkt in das Kundensystem über die kundenspezifizierte PWM Schnittstelle eingebunden werden. Zusätzlich stellen alle Sensoren auch eine Standard-I2C-Schnittstelle zur Verfügung.

www.ebe.de



Die Control Software des EBE Evaluation Kits bietet einen Überblick über die gemessenen Werte. Foto: EBE Elektro-Bau-Elemente GmbH



Die B23-Wanddurchführung für den Einsatz in OCA-Systemen. Foto: Harting

Hybrid-Wanddurchführung für OCA-Systeme

Mit der B23-Wanddurchführung stellt Harting nach eigenen Angaben die erste Lösung für den Einsatz in OCA-Systemen vor. Weitere Varianten und Bauformen, zum Beispiel B17 sind bereits in Vorbereitung.

One Cable Automation (OCA) verfolgt das Ziel einer besonders vorteilhaften und optimalen Verkabelung von Geräten, Maschinen und Anlagen sowie der zugehörigen Peripherie. Das Grundprinzip dabei ist die Kombination aus Leistung, Signal- und Datenkommunikation – vereint in einem Steckverbinder. OCA sei als übergeordnete Verkabelungsphilosophie zu verstehen, welche sich in konkrete Techniken für Einkabel-Lösungen untergliedert.

Die hybride Wanddurchführung in Baugröße B23 besitzt eine Datenschnittstelle mit vier Kontakten für die Ethernet-Übertragung, sowie Kontakte für die Poverversorgung mit $3\text{ mm} \times 4\text{ mm} + \text{PE } 4\text{ mm}^2 + 2 \times 2.5\text{ mm}^2$. Damit ist eine Stromtragfähigkeit von $22\text{ A} + 25\text{ A}$ bei 40°C für Spannungen von $630\text{ V}_{\text{AC}} / 850\text{ V}_{\text{DC}}$, 600 V gegeben. Einsatztemperaturen von -30 bis $+80^\circ\text{C}$ sowie IP Schutzklasse 65/67 im verschraubten Zustand, machen B23 zu einer robusten und deutlich vereinfachten Schnittstelle für One Cable Automation Geräte, so Harting weiter.

www.harting.com

The advertisement shows a grey, rectangular CO2 measurement station mounted on a wall in a sunlit forest. The station has a digital display and a sensor. To the left of the station, there is a white sign with green text that reads: "Weniger CO2 Ein grüner Fußabdruck für Ihr Prüflabor – CO2 sparen durch Modernisierung". At the bottom left of the sign, the Zwick/Roell logo is visible. At the bottom right of the advertisement, the website www.zwickroell.com/nachhaltigkeit is listed.



Neuer IPC von Emerson für für industrielle Datenvisualisierungsanwendungen. Foto: Emerson

IPC für die Verbindung von Fertigung und Cloud

Emerson hat die Einführung eines neuen kompakten Industrie-PC bekannt gegeben. Der IPC PACSystems IPC 2010 für industrielle Anwendungen ermöglicht den Angaben zufolge die Ausführung einer großen Breite von Automatisierungsanwendungen bei der Herstellung von Maschinen und diskreten Teilen. Die neue Lösung sei für Fertigungseinrichtungen und OEM-Maschinenbauer bestimmt, die einen robusten, kompakten, langlebigen IPC benötigen, um ihr Industrielles Internet der Dinge (IIoT) und andere Initiativen für die digitale Transformation auf kosteneffektive Weise zu unterstützen. Der IPC 2010 erfüllt diese Anforderungen laut Emerson durch die vorgeladene PACEdge-Plattform für die industrielle Peripherie und Elemente der Movicon.NExT-Scada-Software, um Anwender bei der schnellen Ausführung von Anwendungen mithilfe einer browserbasierten Konfiguration zu unterstützen. Vorkehrungen zur regelmäßigen Aktualisierung und passiven Wartung der Softwareplattform minimieren den Benutzeraufwand und optimieren die Zuverlässigkeit. Mit einer industriellen Version von Linux und Verfügbarkeit von seriellen und Ethernet-Anschlüssen könne der IPC 2010 in einer Vielzahl von Topologien als Gateway für die Kommunikation sowie gleichzeitig oder separat als Gerät für Edge Computing eingesetzt werden. Anwender können den IPC 2010 in zahlreichen Rollen als flexiblen Protokollkonverter – und für viele andere Computing-Funktionen – einsetzen. Dazu gehören IIoT, Edge Computing, OT/IT-Konvergenz, HMI-Visualisierung, SCADA-Konnektivität und digitale Transformation, führt Emerson aus.

www.emerson.com

Gehäuse-Vorreiber für Profil-Halbzylinder

Vorreiber sind eine Lösung, um Türen zu verschließen. Sie werden häufig im industriellen Schrankbau eingesetzt und sind in zahlreichen Ausführungen verfügbar. Mit seinem Gehäuse-Vorreiber für Profil-Halbzylinder bringt EMKA nach eigenen Angaben ein neues Produkt auf den Markt, das den Bedienkomfort deutlich erhöht und gleichzeitig für mehr Sicherheit sorgt. Denn herkömmliche Vorreiber lassen sich, so das Unternehmen weiter, entweder komplett ohne Schlüssel, mit speziellem Werkzeug oder mithilfe eines Schlüssels entriegeln. Meist werde dann ein Rundzylinder eingesetzt, der sich allerdings vergleichsweise leichter manipulieren lässt. Durch die Kombination des klassischen Vorreibers mit einem 40-mm- oder auch 45-mm-Profil-Halbzylinder bringe EMKA die Verschlusslösung nun auf ein neues Sicherheitslevel. Darüber hinaus lasse sich der neue Gehäuse-Vorreiber ideal in das Schlüsselmanagement des Hauptschließsystems einer Anlage einbinden. Denn der Kunde integriere den gewünschten Profil-Halbzylinder in die EMKA-Lösung und könne beispielsweise mit einem Generalschlüssel sämtliche Systeme bedienen.

Die Entriegelung des neuen Gehäuse-Vorreibers erfolgt mithilfe des Schlüssels von vorn. Der Griff aus Kunststoff springt hervor und wird zum Öffnen des Schrankes um 90° geschwenkt. Er biete eine angenehme Haptik und lasse sich ausgesprochen leicht betätigen. Nach dem Öffnen könne der Schlüssel abgezogen und für andere Verschlüsse eingesetzt werden. Zum Verriegeln wird der Griff in seine Ausgangsstellung gebracht und einfach zgedrückt, der erneute Einsatz des Schlüssels ist nicht erforderlich.

Die neue Verschlusslösung von EMKA ist schock- sowie vibrationsgeprüft nach DIN EN 61373 Kat. 1B und erfüllt die Vorgaben der Schutzart IP66. Aufgrund der geschäumten Dichtung ist der neue Gehäuse-Vorreiber für Profil-Halbzylinder damit nicht nur absolut staubdicht, sondern bietet auch maximalen Schutz vor starkem Strahlwasser, heißt es weiter.

www.emka.com



Gehäuse-Vorreiber für Profil-Halbzylinder. Foto: EMKA

Online Hülsen-Konfigurator

Der Hülsen-Konfigurator wurde laut mbo Oßwald entwickelt, um individuelle Bauteile präzise und bedarfsgerecht zu gestalten, wodurch er in verschiedensten Branchen Anwendung findet. Bekannt für ihre Vielseitigkeit, sind Hülsen unverzichtbar, um exakte Abstände in komplexen Konstruktionen zu gewährleisten. Dabei sind sie auch als Distanzhülsen, Distanzringe, Distanzrohre, Buchsen oder Abstandsbuchsen bekannt.

Der Hülsen-Konfigurator bietet den Angaben zufolge eine intuitiv bedienbare, benutzerfreundliche Plattform, die es ermöglicht, Hülsen nach individuellen Spezifikationen anzupassen und zu bestellen. Das Kernstück dieses digitalen Werkzeugs ist seine Transparenz: Nutzer erhalten detaillierte Informationen über jedes Merkmal der Hülse, einschließlich Produktdetails, 3D-Modell, technische Zeichnungen, Prüfbescheinigungen, die Option für Expressfertigung sowie dynamische Preisangaben.

Anwender können, so das Unternehmen weiter, aus einer Vielzahl von Merkmalen wählen, darunter Material, Oberflächenbeschaffenheit, Schaft-Durchmesser, Länge, Bund und Wandstärke. Nach Auswahl der gewünschten Spezifikationen liefert der Konfigurator umgehend detaillierte Informationen zum Bauteil, inklusive Preis, Lieferzeit, Skizze und 3D-Modell. Die Preisgestaltung sei flexibel und skaliere mit der bestellten Menge, wodurch der Nutzer die vollständige Kontrolle über die Konfiguration und Kosten habe.

www.mbo-osswald.de



Beim Online Hülsen-Konfigurator können die Anwender aus einer Vielzahl von Merkmalen auswählen. Foto: mbo Oßwald



Pixone wurde speziell für die Integration in Robotersysteme konzipiert. Foto: Bota

Kraft-Momenten-Sensor für Robotik-Anwendungen

Der Pix-One, ein mehrachsiger Kraft-Momenten-Sensor von Bota Systems, wurde speziell für die Integration in Robotersysteme konzipiert. Aufgrund seines Hohlshaftdesign und der internen Kabelführung verbessert er sowohl die Agilität als auch die Sicherheit des Roboters.

Das Hohlshaftdesign des Pix-One-Sensors gewährleistet laut Bota eine nahtlose und sichere Integration in den Roboterarm und das End-of-Arm-Tooling (EOT), während es die interne Kabelführung schützt und verbessert.

Das zweiteilige Design des Sensors reduziert den Angaben zufolge das Gewicht erheblich und erleichtert auch die Montage. Der Sensor, verfügbar mit einem Außendurchmesser ab 60 mm und einem Hohlraum-Durchmesser ab 15 mm, verfügt über eine integrierte Trägheitsmesseinheit (IMU) und ist IP67-wasserdicht, was ihn für unterschiedliche Umgebungen geeignet macht.

Pix-One unterstützt Nutzlasten bis 250 kg und bietet eine einheitliche Schnittstelle, die schnelle und einfache Integrationen ermöglicht. Der Sensor nutzt Ether-CAT für schnelle Datenkommunikation und unterstützt Power over Ethernet (PoE), was die elektrische Installation vereinfacht, so der Hersteller.

www.botasys.com

Edelstahl-Elastomerkupplung für Offshore-Anwendungen

Enemac-Elastomerkupplungen (Klauenkupplungen) sind steckbare Ausgleichskupplungen zur spielarmen, winkelgetreuen Übertragung von Drehmomenten in direkten Antrieben. Der Elastomerstern aus Polyurethan, erhältlich in unterschiedlichen Shorehärten, wirkt schwingungsdämpfend und zugleich elektrisch isolierend.

Mit der Type EWJ bringt das Unternehmen eine Edelstahlvariante auf den Markt. Diese kann den Angaben zufolge in einem Temperaturbereich von -30 bis 120 °C verbaut werden und eignet sich durch ihre rostfreien Naben für viele Anwendungen im Freien, zum Beispiel in Offshore-Windparks, im Berg- und Pumpenbau oder der Landwirtschaft. Mit ihren elf Baugrößen deckt diese Edelstahl-Elastomerkupplung einen Nennmomentbereich von 6 bis 650 Nm ab und könne bei Drehzahlen bis 29.000 min^{-1} eingesetzt werden.

www.enemac.de



EWJ ist die Bezeichnung der Enemac-Elastomerkupplung als Edelstahlvariante. Foto: Enemac



Lineartechnik für die Elektronikfertigung und Halbleiterindustrie.
Foto: Rollon GmbH

Linearachsen für Reinraumanwendungen

Speziell für den Einsatz in Reinraumanwendungen hat Rollon das Clean Room System One entwickelt. Die Linearachsen aus Aluminium und Edelstahl werden, wie Rollon mitteilt, von einem hochwertigen Polyurethan-Zahnriemen mit AT-Profil angetrieben und sind so konstruiert, dass sie niedrige Partikelemissionen gewährleisten. Erreicht werde dies unter anderem durch korrosionsbeständige Materialien, eine Abdeckung von Zahnriemen und Linearführung, die Verwendung einer Vakuumpumpe mit 0,8 bar Unterdruck, innovative Kugelketten, die die Kugeln der Laufwagen gegenseitig auf Abstand halten, sowie besondere Schmierstoffe.

Zu den Einsatzfeldern gehören automatische Liftanwendungen im Wafer Fab, um Foups oder Wafer-Boxen in unterschiedliche Produktionsebenen einer Waferfabrik zu transportieren, oder Linearachsensysteme für Roboteranwendungen in Bearbeitungszellen, bei denen der Roboter vertikal an der Linearachse geführt wird und durch die 7. Achse so seinen Bearbeitungsraum erweitert.

www.rollon.de

Joysticks für industrielle Anwendungen

Die Metallux AG hat sich auf die Entwicklung und Fertigung von Sensoren und industriellen Joysticks spezialisiert. Das Portfolio reicht von Druckmesszellen und Drucktransmittern, Weg- und Winkelsensoren über Hochspannungs- und Leistungswiderstände bis hin zu industriellen Joysticks. Basis aller Produkte ist die Dickschicht-Technik.

Neu im Programm sind die Daumen-Joysticks MJ-T10 und MJ-T11. Wie das Unternehmen ausführt, gehört der MJ-T10 mit einer Gesamtlänge von 25 mm zu den kleinsten, redundanten industriellen Hall-Joysticks der Welt. Beide Joysticks sind, so Metallux weiter, aufgrund ihrer kleinen Einbaumaße sehr gut integrierbar in Anwendungen, die eine präzise Steuerung benötigen, aber wenig Platz bieten, beispielsweise als Bedienelement in Hand-Joysticks oder in Armlehnen sowie in Funkfernsteuerungen, in Rollstühlen oder in Off-Highway-Fahrzeugen.

www.metallux.de



Der MJ-T10 hat eine Gesamtlänge von 25 mm. Foto: Metallux

OPC FOUNDATION STARTET OPC UA CLOUD INITIATIVE

Die OPC Foundation hat eine neue Initiative zur Umsetzung der Interoperabilität zwischen IT- und Cloud-Plattformen unter Verwendung von OPC UA vorgestellt. Sie zielt auf Anwendungen wie Datenanalyse unter Verwendung von KI, Industrial Data Spaces, digitale Produktpässe und Anwendungen für das industrielle Metaverse sowie digitale Zwillinge ab. Die Initiative hat den Angaben zufolge zum Ziel, eine Cloud-Referenzarchitektur zu schaffen, um Best Practices und optimierte Profile von OPC-UA-Standards für einen breiteren Datenaustausch bereitzustellen, in Übereinstimmung mit globalen Vorschriften wie dem EU Data Act oder dem EU Cyber Resilience Act (CRA). Darüber hinaus wird die Initiative die Verwendung von OPC UA Companion Specs und anderen OPC UA Informationsmodellen innerhalb von Cloud-Diensten abdecken.

Die Digitalisierung führt laut OPC zu einer Spaltung der Welt in diejenigen, die über Daten verfügen und diese effektiv nutzen, und diejenigen, die keinen Zugang zu diesen Ressourcen haben. Dies sei ein Hindernis sowohl für den Unternehmenserfolg als auch für das gesamtwirtschaftliche Wachstum. Als Reaktion darauf verlange der Gesetzgeber von den Anbietern, dass sie Daten in einem viel breiteren Ökosystem gemeinsam nutzen. Darüber hinaus werden verschiedene Anwendungsfälle für die Rückverfolgbarkeit, wie der digitale Produktpass (DPP) und der Batteriepass (DBP), einen größeren Bedarf an Interoperabilität von Datenmodellen schaffen. Staatliche Sicherheitsanforderungen, wie der Cyber Resilience Act, schaffen weitere Anforderungen an Datenkommunikationsstandards, heißt es weiter. Der IEC-Standard OPC UA sei gut positioniert, um diese Anforderungen zu erfüllen.

Die Initiative werde insbesondere von führenden Unternehmen der Cloud-Branche wie Alibaba-Cloud, AWS, Huawei, Microsoft und SAP sowie von großen Anlagenbetreibern unterstützt. Diese gemeinsame Anstrengung werde bestehende Arbeitsgruppen harmonisieren und neue Arbeitsgruppen für Cloud-zentrierte Anwendungen initiieren, mit dem Ziel, OPC UA zu nutzen und zu erweitern und die Interoperabilität zwischen Cloud-Lösungen zu fördern. Diese strategische Initiative soll die Kosten senken und die Nutzbarkeit von OPC UA Informationsmodellen für Cloud-basierte Anwendungsfälle verbessern. www.opcfoundation.org

Fachteil

Ingenieur-Werkstoffe



Am 19. und 20. Juni wird sich im Mannheim zwei Tage lang alles um den Einsatz von Kunststoffen im Automobil drehen. Zum internationalen VDI-Kongress PIAE erwarten die Branchenbesucher über 60 Expertenvorträge, ein Branchentreff mit 80 nationalen und internationalen Fachausstellern sowie der Autosalon. Ein Highlight und ganz praktisches Beispiel für den Einsatz nachhaltiger Materialien und die Verwendung von Rezyklaten wird das Showcar auf Basis des Škoda Enyaq sein. Foto: Škoda

BAUMATERIAL

Neuer Verbundwerkstoff erlaubt CO₂-negatives Bauen

ALUMINIUM

Neue Recycling-Technologie für europäisches Aluminium

KLEBSTOFF

Alterungsbeständig und hoch umweltverträglich

Wiederverwertete Kunststoffe halten zunehmend Einzug im Automobilbau

Charakterisierung der Lackierfähigkeit von Kunststoffrezyklaten

Die Kreislaufwirtschaft steht in allen Bereichen der Produktion zunehmend im Fokus, so auch in der Automobilindustrie. Ein Ansatz dabei ist, Kunststoffrezyklate für die Entstehung neuer Bauteile zu nutzen. Doch wenn es um die Lackierung der so gefertigten Komponenten geht, stehen die Hersteller oft vor Problemen, da die Rezyklate mitunter große Qualitätsschwankungen aufweisen.

TEXT: Annedore Bose-Munde

Rezyklate sind wiederverwertete Kunststoffe, beispielsweise aus PE (Polyethylen), PP (Polypropylen) oder PET (Polyethylenenterephthalat), welche für die Herstellung neuer Produkte genutzt werden können. Ein guter Ansatz, denn Kunststoffrezyklate sollen vermehrt eingesetzt werden, um Abfälle zu vermeiden und negative Umweltauswirkungen zu reduzieren. Gesetzliche Vorgaben - wie beispielsweise die zukünftige EU-Altfahrzeugverordnung - unterstreichen diese Zielsetzung. Die Richtlinie soll Hersteller von Fahrzeugen und Bauteilen dazu anregen, schon beim Produktdesign Wiederverwertungs- und Recyclingmöglichkeiten zu be-



Bild 1 Kunststoffrezyklate sollten verstärkt für die Herstellung neuer Bauteile genutzt werden. Doch wenn es um die Lackierung der so gefertigten Komponenten geht, stehen die Hersteller oft vor Problemen, da die Rezyklate mitunter große Qualitätsschwankungen aufweisen. Foto: PantherMedia / XXLPhoto

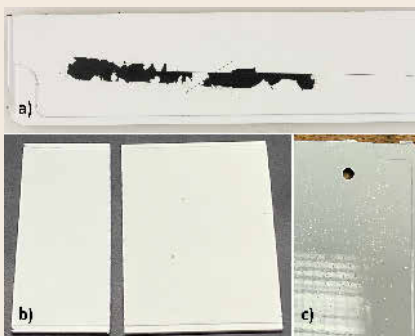


Bild 2 Typische Fehlerbilder bei Rezyklaterprobungen an Musterplatten: a) Enthaftung, b) Vergilbung, c) Blasenbildung. Foto: VW

„Werden Rezyklate für die Herstellung von Bauteilen genutzt, können zum Beispiel bei lackierten Fahrzeugteilen verstärkt Enthaftungen, Verfärbungen oder Oberflächenunebenheiten auftreten, die mit kosten- und zeitintensiven Nacharbeiten, Ausschüssen oder Beanstandungen einhergehen.“

rücksichtigen. Doch genau das, was völlig simpel klingt, bedeutet für die Praxis umfangreiche Herausforderungen.

Qualitätsunterschiede der Rezyklate sind Herausforderung

Die Qualität von Kunststoffrezyklaten ist häufig von den Bedingungen der vorherigen Lebenszyklusphasen der Kunststoffe geprägt; dementsprechend sind Qualitätsschwankungen und auch Performanceeinbußen die Folge. „Werden Rezyklate für die Herstellung von Bauteilen genutzt, können zum Beispiel bei lackierten Fahrzeugteilen verstärkt Enthaltungen, Verfärbungen oder Oberflächenunebenheiten auftreten, die mit kosten- und zeitintensiven Nacharbeiten, Ausschüssen oder Beanstandungen einhergehen“, sagt Katharina Tonn. Sie ist Doktorandin im Bereich Vorentwicklung Bodysystem bei der Volkswagen AG in Wolfsburg. Vor diesem Hintergrund hat sich die Expertin mit dem Thema Charakterisierung der Lackierfähigkeit von Kunststoffrezyklaten



Bild 3 Katharina Tonn, Doktorandin im Bereich Vorentwicklung Bodysystem bei der Volkswagen AG in Wolfsburg. Foto: VW

spruchsvollen Anwendungen, wie beispielsweise bei lackierten Fahrzeugumfängen. Zur Prävention sind die Rezyklatqualitäten daher frühzeitig mit Blick auf ihre Lackierfähigkeit zu charakterisieren. „Die standardisierten, derzeit angewendeten Prüfmethoden müssen für einen Rezyklateinsatz optimiert werden,

„Die standardisierten, derzeit angewendeten Prüfmethoden müssen für einen Rezyklateinsatz optimiert werden, da sie für eine chargenweise Wareneingangskontrolle zu aufwendig sind und erst am lackierten Produkt Anwendung finden.“

auseinandergesetzt. Beteiligt an den Untersuchungen waren Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann, Technische Universität Braunschweig und Fraunhofer Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST, Braunschweig, sowie Prof. Dr. Michael Thomas, ebenfalls IST und Fraunhofer-Zentrum Circular Economy für Mobilität CCEM, Wolfsburg. Am zweiten Tag des internationalen VDI-Kongresses PIAE (Plastics in Automotive Engineering, ehemals „Kunststoffe im Automobilbau“) wird Katharina Tonn Ergebnisse dieser Untersuchungen vorstellen (weitere Informationen zum Kongress folgen ab Seite 4).

Lösungsansätze für die Materialcharakterisierung

Qualitätsschwankungen gegenüber der Neuware erschweren einen Einsatz in an-

da sie für eine chargenweise Wareneingangskontrolle zu aufwendig sind und erst am lackierten Produkt Anwendung finden“, sagt Tonn. Vor diesem Hintergrund präsentiert ihr Beitrag auf der PIAE die Einflussfaktoren auf die Lackierfähigkeit und leitet erste Ansatzpunkte zur effizienten Charakterisierung von Kunststoffrezyklaten ab.

„Zur Ableitung alternativer Charakterisierungsmethoden sind Korrelationen zwischen dem lackierten Erscheinungsbild und substratspezifischer Kenngrößen zu ermitteln. Dafür müssen im ersten Schritt die Einflussgrößen auf die Lackierfähigkeit identifiziert werden“, beschreibt sie die Herangehensweise. Herausfordernd sei dabei die Sensibilität des Lackierprozesses, was die Unterscheidung zwischen prozess- und substratbedingten Einflüssen sowie Zusammenhängen erschwere.

Bedeutung für zukünftige Anwendungen

Fest steht daher: Die Sensibilität sowie Fehleranfälligkeit einer Lackierung hemmt den Einsatz von Rezyklaten für lackierte Komponenten. Erst wenn die Einflussgrößen und Wechselwirkungen bekannt sind, können daher negative Auswirkungen bei der Material- und Prozessentwicklung ausbalanciert und Rezyklatquoten für lackierte Umfänge ausgebaut werden.

„Die Chargenschwankungen erfordern wiederum eine Chargenüberwachung und natürlich die frühzeitige Rezyklatcharakterisierung, die über die typischen Wareneingangskontrollen oder Materialfreigaben hinausgehen. Veränderungen im Prozessablauf sind daher nicht auszuschließen“, benennt Katharina Tonn den komplexe Betrachtungsansatz. Damit könnten dann frühzeitige Optimierungsmaßnahmen eingeleitet und so Beanstandungen, Ausschüsse oder Nacharbeiten reduziert werden.

In der Praxis ähneln sich Lackierungen und Fügetechnologien wie das Kleben in ihren Anforderungen. Perspektivisch könnten also die Erkenntnisse über Lackierungen auch auf die Charakterisierung von Klebflächen adaptiert werden können.

Global betrachtet werden Kunststoffe aufgrund ihres breiten und vorteilhaften Eigenschaftsportfolios in großen Mengen in der Automobilindustrie eingesetzt. Wie die Nachfrage nach Kunststoffen, so steigt auch die Menge an Kunststoffabfällen. Um Abfälle und negative Umweltauswirkungen zu reduzieren sowie Ressourcen zu schonen und trotzdem Kunststoffbedarfe zu decken, ist es daher wichtig, dass Stoffkreisläufe durch Recycling geschlossen werden können. Die Charakterisierung der Lackierfähigkeit von Kunststoffrezyklaten kann einen wichtigen Beitrag in diesem Kreislauf leisten. ■



Annedore Bose-Munde
Fachjournalistin für Wirtschaft und Technik aus Erfurt
Telefon: 0171 26 84 366
E-Mail: info@bose-munde.de

Kontakt VW
Katharina Tonn
Volkswagen Aktiengesellschaft
38436 Wolfsburg
Tel.: +49 152 09100431
E-Mail: katharina.tonn@volkswagen.de



Bild 1 Ein Highlight und ganz praktisches Beispiel für den Einsatz nachhaltiger Materialien und die Verwendung von Rezyklaten wird das Showcar auf Basis des Škoda Enyaq sein, welches auf der PIAE in Mannheim zu sehen sein wird. Foto: Škoda

Wissensaustausch beim internationalen VDI-Fachkongress PIAE (Plastics in Automotive Engineering)

Rezyklate und nachwachsende Rohstoffe für den Automobilbau

Am 19. und 20. Juni wird sich im Mannheim zwei Tage lang alles um den Einsatz von Kunststoffen im Automobil drehen. Zum internationalen VDI-Kongress PIAE erwarten die Branchenbesucher über 60 Expertenvorträge, ein Branchentreff mit 80 nationalen und internationalen Fachausstellern sowie der Autosalon. Ein besonderer Fokus liegt in diesem Jahr auf der Kreislaufwirtschaft und dem Einsatz von Rezyklaten.

TEXT: Annedore Bose-Munde

Der internationale Fachkongress PIAE (Plastics in Automotive Engineering), der von der VDI Wissensforum GmbH veranstaltet wird, ist für Kunststoff- und Auto-

mobilexperten gleichermaßen eine wichtige Plattform für den Wissensaustausch. „Ohne hochwertige technische Kunststoffe ist ein Automobil nicht mehr vorstellbar. Kunststoff-Eigenschaften, wie die geringe Dichte, die Langlebigkeit, die Oberflächen- und

Formgebungsmöglichkeiten, aber auch Isolations- oder Dämmwirkung ermöglichen erst einen wirtschaftlichen Automobilbau“, benennt Kongressleiter Thomas Drescher, Leitung Vorentwicklung und Fahrzeugbeurteilung im Bodensystem bei der Volkswagen



Bild 2 Mit dem sogenannten „advanced mechanical recycling“ von Kunststoffen aus Haushaltsabfällen hat Borealis einen Schritt in Richtung Kreislaufwirtschaft gesetzt und bietet ein Portfolio an PP Compounds mit mehr als 25 Prozent PCR-Anteil an. Foto: Tomra

AG in Wolfsburg, die Bedeutung des Werkstoffes. Der Nachhaltigkeitsgedanke erfordert jedoch auch das Schaffen von Kreisläufen für hochwertige Kunststoffe. Deshalb seien jetzt Recycler, Verfahrenstechniker, Rohstoff- und Bauteilentwickler aufgerufen, für diese Wertstoffe Kreisläufe zu entwickeln. „Noch stehen wir hier am Anfang und benötigen weitere wirtschaftliche Sortier- und Aufbereitungstechniken, um die erforderliche gleichbleibende Qualität der technischen Kunststoffrezyklate zu gewährleisten. Der Aufbau dieser Kreislaufwirtschaft ist meines Erachtens die größte Herausforderung der Kunststoffindustrie für die nächsten Jahre“, so Drescher.

Praxiseinsatz nachhaltiger Materialien wird präsentiert

Ein ganz praktisches Beispiel für den Einsatz nachhaltiger Materialien und die Verwendung von Rezyklaten wird das Showcar auf Basis des Škoda Enyaq sein, welches in Mannheim zu sehen sein wird.

„Der Klimawandel betrifft uns alle. Wir müssen also etwas tun, um die Auswirkungen des CO₂-Fußabdrucks zu verrin-

gern, beispielsweise durch die Verwendung nachhaltiger Materialien“, sagt Dalibor Kopáč, Entwicklungsingenieur im Bereich Korrosion, Freibewitterung, Materialentwicklung bei Škoda Auto a.s. in Mladá Boleslav/ Tschechien. In seinem Beitrag auf der PIAE wird er für das Beispiel Showcar den Einsatz recycelter Materialien für Teile beschreiben, für die dies bisher nicht möglich war. „Neu ist die deutlich breitere Verwendung von nachhaltigen Materialien im Fahrzeug. Dies sind vor allem rezyklierte Kunststoffe mit Fokus auf Post-Consumer-Rezyklaten, Monomaterialien und Closed-Loop-An-

wendungen. Angewendet wird dieser Nachhaltigkeitsansatz für etwa 20 Teile, zum Beispiel für Stoßfänger, Sitzbezüge, Türverkleidungen, den Dachhimmel oder die Heckklappe“, gibt Kopáč einen Ausblick.

Das Hauptpotenzial des Nachhaltigkeitsansatzes liegt ganz klar in der Reduzierung des Ressourcenverbrauchs für die Herstellung von Kunststoffen und in der Verwendung von Abfällen oder bereits verwendetem Material. „Doch wir bereiten uns damit auch auf künftige gesetzliche Anforderungen der EU-Altautoverordnung vor“, so Kopáč.

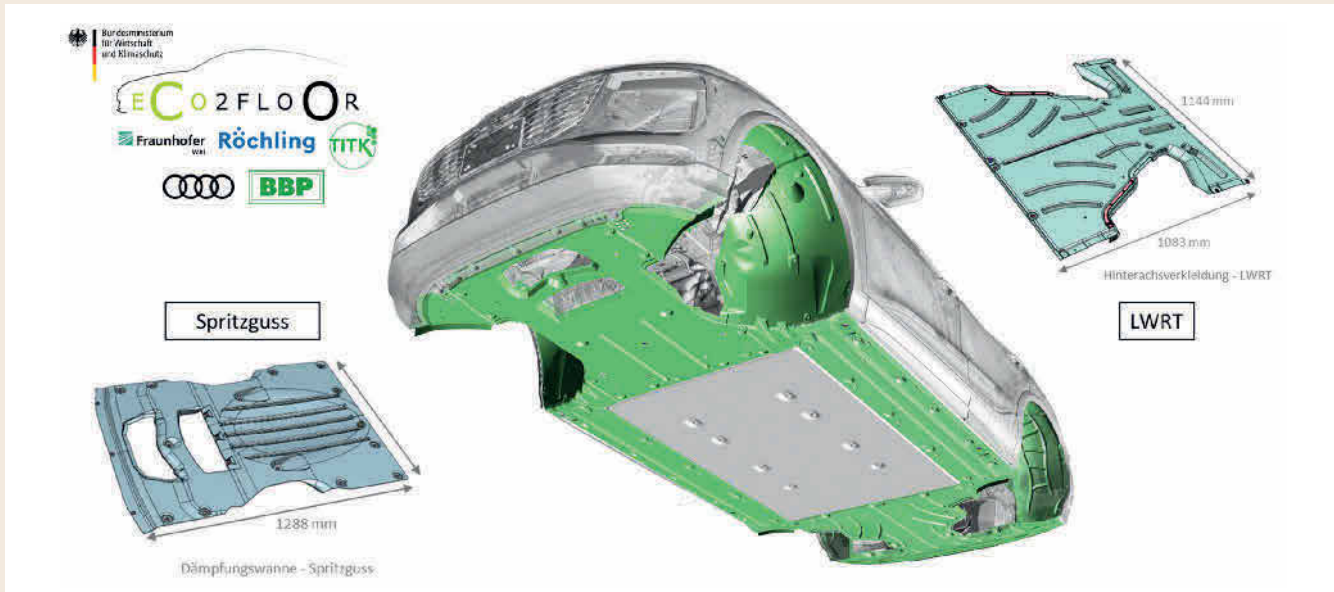


Bild 3 Im Rahmen des Forschungsvorhabens „ECo2Floor“ wurde ein neues, nachhaltiges Gesamtkonzept für Fahrzeugunterböden entwickelt. Die aktuell in Fahrzeugen eingesetzten Materialkonzepte wurden durch naturfaserverstärkte Verbundwerkstoffe substituiert. *Grafik: Audi*

Herausforderungen und Chancen für die Kreislaufwirtschaft

Die EU-Kommission hat die bestehenden Regeln für die Wiederverwendung, das Recycling und die Verwertung von Fahrzeugen überarbeitet und im Juli 2023 einen Vorschlag dazu vorgelegt. Die neue Fassung der EU-Altautoverordnung, die derzeit geprüft wird und noch final beschlossen werden muss, sieht für alle Neufahrzeuge, die in der EU eine Typgenehmigung erhalten sollen, einen obligatorischen Anteil von 25 Prozent recycelten Kunststoffen an der Gesamtkunststoffmenge im Fahrzeug vor. Die Gesetzgebung legt dabei einen klaren Schwerpunkt auf Post-Consumer-Rezyklate (PCR) die idealerweise aus mechanischen Recyclingverfahren stammen; 25 Prozent des genannten 25 Prozent-PCR-Anteils sollen dabei aus der Verwertung von Kunststoffen aus Altfahrzeugen stammen. Das



Bild 4 PIAE-Kongressleiter Thomas Drescher, Leitung Vorentwicklung und Fahrzeugbeurteilung im Bodensystem bei VW. *Foto: VW*

sind 6,25 Prozent der Gesamtkunststoffmenge.

„Um diese geforderte Rezyklatquote zu erfüllen, müssen im Wesentlichen alle großen Kunststoffteile im und rund um

das Fahrzeug mit Rezyklat beziehungsweise Rezyklatanteil realisiert werden, also beispielsweise Stoßfänger, Schweller oder Blenden“, sagt Georg Grestenberger, Application Marketing Manager Interior – Mobility bei der Borealis Polyolefine GmbH in Linz/ Österreich. „Mit etwa einem Drittel entfällt auf Polypropylen der größte Anteil an Kunststoffen im Auto. Polypropylen und insbesondere Polypropylen Compounds werden daher auch einen wesentlichen, überproportionalen Beitrag bei der Erfüllung der Kreislaufziele tragen müssen“, so Grestenberger weiter. Wie dies gelingen kann, wird er in Mannheim am Beispiel von recyceltem Post-Consumer-PP für hochwertige Autoinnenraumanwendungen darstellen. „Mit dem sogenannten „advanced mechanical recycling“ von Kunststoffen aus Haushaltsabfällen hat Borealis einen großen Schritt in Richtung Kreislaufwirtschaft gesetzt. Wir bieten mittlerweile ein Portfolio an PP Compounds mit mehr als 25 Prozent PCR-Anteil an. Diese Materialien erlauben unseren Kunden die Herstellung von Kunststoffbauteilen, welche die gängigen Automobilanforderungen erfüllen“, benennt er Einsatzbereiche. Erste Projekte sollen noch 2024 in Serie gehen.

Fahrzeugunterböden aus Naturfasern und rezykliertem Polypropylen

Für den Einsatz in zukünftigen Elektrofahrzeugplattformen wurde im Rahmen

PIAE – INTERNATIONALER FACHKONGRESS ZU KUNSTSTOFFEN IM AUTOMOBILBAU

PIAE steht für Plastics in Automotive Engineering. Der Kongress, der von der VDI Wissensforum GmbH veranstaltet wird, findet am 19. und 20. Juni im Congress Center Rosengarten in Mannheim statt. Der Leitkongress für Kunststoffe im Automobil beleuchtet seit über 40 Jahren mit unterschiedlichsten Experten-Vorträgen von Automobilherstellern und Zulieferern aktuelle kunststofftechnische Entwicklungen und Anwendungen sowie deren Einsatz im Bereich Interieur, Exterieur, Motor, Werkstoffe und Technologien. Die begleitende Ausstellung deckt die gesamte Wertschöpfungskette ab. Hier kann der Einsatz von Kunststoff-Bauteilen direkt am Fahrzeug betrachtet werden.

eines Forschungsvorhabens innerhalb eines Entwicklungskonsortiums ein völlig neues, nachhaltiges Gesamtkonzept für Fahrzeugunterböden entwickelt. Den Projektpartnern Audi AG, Röchling Automotive SE, BBP Kunststoffwerk Marbach Baier GmbH, Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz Institut WKI und dem Thüringischer Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung TITK ist es innerhalb dieses Vorhabens gelungen, die aktuell in Fahrzeugen eingesetzten Materialkonzepte durch naturfaserverstärkte Verbundwerkstoffe zu substituieren. „Mit der Entwicklung eines nachhaltigen Fahrzeugunterbodens wurde eine anspruchsvolle Bauteilgruppe mit hohen Kunststoffanteilen für den Einsatz von Naturmaterialien erschlossen. Bisher wurden Naturfaserverbundbauteile in erster Linie als Verkleidungsteile ohne nennenswerte mechanische Aufgaben im Automobil eingesetzt. Bei den im Projekt betrachteten großflächigen Teilen im Fahrzeugunterboden werden jedoch hohe Anforderungen hinsichtlich Biege- und Schlagverhalten gestellt“, beschreibt Fabian Groh, Entwicklung Anbausystem bei der Audi AG in Neckarsulm die Herausforderung. Bei der Entwicklung des Unterbodens wurden Glasfasern als Hochleistungswerkstoff durch Naturwerkstoffe wie Flachs-, Hanf- und Cellulosefaser ersetzt. Hierbei wurden Unterbodenbauteile mit bis zu 45 Prozent Naturfaseranteil realisiert. Zudem wurde vollständig auf Polypropylen-Neuware verzichtet; es wurden ausschließlich Rezyklate eingesetzt.

Die produzierten Bauteile wurden sowohl auf Komponentenebene als auch im Fahrversuch intensiv geprüft. „Das erfreuliche Ergebnis dieser Erprobungen lautet: Die neu entwickelten Materialien erfüllen alle Standardanforderungen an Unterbodenkomponenten und erweisen sich als serientauglich. Weder der Einsatz der Naturfasern noch der der Post-Consumer-Rezyklate führt zu einem signifikanten Abfall der Eigenschaften für den Kunden“, bestätigt der Experte die Praxisrelevanz.

Die neu entwickelten Materialien eignen sich laut Groh für alle im VW-Konzern eingesetzten Bauteilkonzepte im Fahrzeugunterboden. Für die dort vertretenen Werkstoffe wurden nachhaltige Alternativen entwickelt. „Dies betrifft eine Baugruppe von zirka zehn Kilogramm bei



Bild 5 Dalibor Kopáč, Entwicklungsingenieur bei Škoda. Foto: Škoda



Bild 6 Georg Grestenberger, Application Marketing Manager Interior – Mobility bei Borealis. Foto: Borealis



Bild 7 Fabian Groh, Entwicklung Anbausystem bei Audi. Foto: Audi

jedem Fahrzeug. Es kann also durchaus von einem großen Volumenpotenzial mit hoher industrieller Relevanz gesprochen

werden“, benennt er das mögliche Einsatzpotenzial.

Umweltverträgliche und individuelle Mobilität

Neben den Nachhaltigkeitsthemen bietet auch das diesjährige Programm der PIAE wieder einen Überblick über anspruchsvolle Bauteilbeispiele, Fertigungsverfahren, Simulationsmethoden und Leichtbauanwendungen.

Und wodurch zeichnen sich die Fahrzeugkonzepte der Zukunft aus? „Damit individuelle Mobilität auch in Zukunft möglich ist, muss das Fahrzeug sozial verträglich und erschwinglich bleiben. Gleichzeitig muss das Fahrzeug der Zukunft energieeffizient, leicht und umweltverträglich sein“, benennt Kongressleiter Thomas Drescher die ganz globalen und wesentlichen Eckpfeiler für die Fahrzeugentwicklung. ■



Annedore Bose-Munde
Fachjournalistin für Wirtschaft und Technik aus Erfurt
Telefon: 0171 26 84 366
E-Mail: info@bose-munde.de

Kontakt
VDI Wissensforum GmbH
Daniel Schröder
Produktmanager Fahrzeugtechnik
Telefon: +49 211 6214-435
E-Mail: schroeder@vdi.de
www.vdi-wissensforum.de



So ist das neue Wandelement aufgebaut. Foto: DITF

Deutsches Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf entwickelt umweltfreundlichen Baustoff

Neuer Verbundwerkstoff erlaubt CO₂-negatives Bauen

Ein neuer Verbundwerkstoff hält Einzug in die Bauindustrie. Hergestellt aus Naturstein, Carbonfasern und Biokohle ist er eine Alternative zu Stahlbeton. Eine besonders gute CO₂-Bilanz zeichnet ihn aus.

Das Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf (DITF) leitet das Verbundprojekt „DACCUS-Pre“*. Die Grundidee des Projektes ist es, einen neuen Baustoff zu entwickeln, der langfristig Kohlenstoff speichert und der Atmosphäre sogar mehr CO₂ entnimmt, als bei seiner Herstellung freigesetzt wird.

In Zusammenarbeit mit der Firma TechnoCarbon Technologies ist das Vorhaben inzwischen weit fortgeschritten – ein erster Demonstrator als Hauswandelement konnte realisiert werden. Dieser besteht aus drei Werkstoffen: Naturstein, Carbonfasern und Biokohle. Jede einzelne Komponente trägt dabei in unterschiedlicher Art und Weise zu der negativen CO₂-Bilanz des Werkstoffs bei: Zwei Gesteinsplatten aus Naturstein bilden die Sichtwände des Wandelements. Durch die mechanische Bearbeitung des Materials, dem Zusetzen in Gesteinstrennmaschinen, fallen nennenswerte Mengen an Gesteinstaub an. Dieser ist durch seine große spezifische Oberfläche sehr reaktionsfreudig. Durch Silikatverwitterung des Gesteinstaubes wird eine große Menge CO₂ aus der Atmosphäre dauerhaft gebunden.

So wird die CO₂-Bilanz des neuen Baumaterials negativ

Carbonfasern in Form von technischem Gewebe verstärken die Seitenwände der Wandelemente. Sie nehmen Zugkräfte auf und sollen, analog zu Verstärkungsstahl in Beton, den Baustoff stabilisieren. Die verwendeten Carbonfasern sind biobasiert, hergestellt auf der Basis von Biomasse. Lignin-basierte Carbonfasern, wie sie an den DITF Denkendorf seit langem technisch optimiert werden, sind für diese

Anwendung besonders geeignet: Sie sind durch niedrige Rohstoffkosten günstig und haben eine hohe Kohlenstoffausbeute. Außerdem sind sie nicht, wie Verstärkungsstahl, anfällig für Oxidation und dadurch wesentlich länger haltbar. Wenngleich Carbonfasern in der Herstellung energieintensiver sind als Stahl, wie er in Stahlbeton verwendet wird, so wird doch nur eine geringe Menge für den Einsatz im Baustoff benötigt. Dadurch ist die Energie- und CO₂-Bilanz erheblich besser als für Stahlbeton. Durch die Verwendung von Solarwärme und Biomasse zur Herstellung der Carbonfasern und die Verwitterung der Feinstäube wird die CO₂-Bilanz des neuen Baumaterials insgesamt sogar negativ, wodurch CO₂-negatives Bauen von Gebäuden möglich wird.

Die dritte Komponente des neuen Baumaterials besteht aus Biokohle. Diese kommt als Füllmaterial zwischen den beiden Gesteinsplatten zum Einsatz. Die Kohle wirkt als effektives Dämmmaterial. Sie ist zusätzlich eine dauerhafte CO₂-Speicherquelle, die in der CO₂-Bilanz des gesamten Wandelements eine nennenswerte Rolle spielt. Aus technischer Sicht ist der bereits realisierte Demonstrator, ein Wandelement für den konstruktiven Bau, weit ausgereift. Als Naturstein wurde ein Gabbro aus Indien verwendet, der optisch hochwertig und für hohe Lastaufnahmen geeignet ist. Das wurde in Lasttests nachgewiesen. Biobasierte Carbonfasern dienen als Decklagen der Gesteinsplatten. Die Biokohle der Firma Convoris GmbH zeichnet sich durch besonders gute Wärmeisolationen aus. Die CO₂-Bilanz einer Hauswand aus dem neuen Werkstoff wurde berechnet und der von etabliertem Stahlbeton gegenübergestellt. Es ergibt sich eine Differenz in der CO₂-Bilanz von 157 CO₂-Äquivalenten je Quadratmeter Hauswand. Eine deutliche Einsparung. ■

Kontakt

Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf (DITF)
Körschtalstraße 26, 73770 Denkendorf
www.ditf.de

* (Methods for removing atmospheric carbon dioxide (Carbon Dioxide Removal) by Direct Air Carbon Capture, Utilization and Sustainable Storage after Use (DACCUS))

Fraunhofer Umsicht entwickelt umweltfreundlichere Flammschutzmittel für E-Mobilität und Elektronik

Flammschutz mit Umweltvorteilen

Eine Alternative zu bromierten Flammschutzmitteln für Elektronik und E-Mobilität sind phosphororganische Flammschutzmittel. Doch fehlen bisher vergleichende Lebenszyklusuntersuchungen. Welche Umweltauswirkungen phosphororganische Flammschutzmittel im Vergleich zu bromierten Flammschutzmitteln in Kunststoffbauteilen wie Ladesteckern für Elektroautos oder USB-C-Anschlüssen haben, untersuchte das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik „Umsicht“ nun erstmalig in einer vergleichenden Ökobilanzierung.

Bromierte Flammschutzmittel sind derzeit am weitesten verbreitet, da sie schlicht sehr wirksam sind, effizient herzustellen, bei hohen Temperaturen stabil sind und kosteneffizient produziert werden können. Sie finden sich in verschiedenen Produkten wie Automobilen, Elektronik, Textilien und Möbeln. Der weltweite Verbrauch von Flammschutzmitteln wird auf 2,4 Millionen Tonnen geschätzt¹. Mehr als die Hälfte davon stecken in elektrischen und elektronischen Anwendungen wie auch der E-Mobilität. Jedoch sind bromierte – also halogenierte – Flammschutzmittel problematisch: Sie können in Boden, Wasser, Klärschlamm oder auch bei Wildtieren nachgewiesen werden. Zudem entstehen bei deren Verbrennung toxische Emissionen. Daher sind dringend weniger schädliche Flammschutzmittel notwendig.

Grüne Chemie

Bisherige Untersuchungen konnten zeigen, dass viele Phosphorverbindungen in flammhemmenden Anwendungen im Vergleich zu bromierten Flammschutzmitteln sicherer und weniger toxisch sind. Jedoch fehlten bisher ganzheitliche und quantifizierende Lebenszyklusuntersuchungen dieser Flammschutzmittel von der Wiege bis zur Bahre. Fraunhofer Umsicht verglich nun im Auftrag von Clariant in einer Lebenszyklusanalyse erstmalig die Umweltauswirkungen von flammgeschützten Kunststoffen für Ladestecker und elektronische Geräte. Gleichzeitig ist diese Analyse Teil einer Fallstudie für die Europäische Kommission entsprechend der Leitlinie „Safe and Sustainable-by-Design“, die Lebenszyklusbewertungen – und nicht nur die Toxizität – als Bewertungskriterium in der Chemikalienentwicklung vorsieht. Das Unternehmen Clariant vermarktet die untersuchte Flammschutzformulierung unter dem Handelsnamen Exolit OP 1400. Exolit OP 1400 enthält das Flammschutzmittel Diethylphosphinsäure (DEPAL) für dessen Herstellung u.a. gelber Phosphor, Natronlauge und Calciumhydroxid benötigt werden.

Die Forschenden kamen zu dem Ergebnis, dass die Umweltbelastungen des Exolit OP 1400 insgesamt geringer ist und daher eine praktikable Alternative zu herkömmlichen bromierten Flammschutzmitteln in technischen Kunststoffen darstellt. „Der Einsatz von phosphororganischen Flammschutzmitteln wie Alu-



In Kunststoffbauteilen der Ladestecker für E-Autos stecken Flammschutzmittel wie auch in vielen anderen elektronischen Produkten, Textilien oder auch Möbeln. Foto: Fraunhofer Umsicht

miniumdiethylphosphinat (DEPAL) verringert deutlich die negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und Umwelt“, erklärt Dr. Daniel Maga, Autor der Ökobilanzierung von Fraunhofer Umsicht. Umweltvorteile bestehen vor allem in der Ressourcenschonung, da kein Antimontrioxid wie bei den bromierten Formulierungen benötigt wird. Antimon zählt seit dem Jahr 2010 zu den 14 von der EU als kritisch eingestuften Rohstoffen. Der CO₂-Fußabdruck der Phosphor-Alternative ist zwar nur geringfügig kleiner als der von bromierten Flammschutzmitteln, was vor allem auf die energieintensive Gewinnung von Phosphor aus Phosphatgestein zurückzuführen ist. Durch einen höheren Anteil erneuerbarer Energien in der Phosphorproduktion könnte dieser aber reduziert werden. Weiterhin ist die Entsorgung von Exolit OP 1400 weniger umweltbelastend und ermöglicht in der Zukunft eine bessere Kreislaufführung. ■

Kontakt

Das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik Umsicht
Osterfelder Str. 3
46047 Oberhausen
www.umsicht.fraunhofer.de

¹ S&P Global. Flame Retardants: Specialty Chemicals Update Program, 2019.



Bild 1 Eine AIT-LKR-Horizontalstrangiessanlage in Aktion. Foto: AIT-LKR_Lan

AIT LKR leitet das Forschungsprojekt RecAL für mehr Nachhaltigkeit in der Aluminiumindustrie

Neue Recycling-Technologie für europäisches Aluminium

Das AIT Austrian Institute of Technology leitet das EU-Projekt RecAL, das Nachhaltigkeit, Kreislaufwirtschaft und Ressourceneffizienz in der Aluminiumindustrie im Fokus hat.

In einer neuen Initiative, die vor kurzem in Wien offiziell gestartet wurde, setzt sich das Projekt RecAL (Recycling technologies for circular ALuminium) das Ziel, innovative Recycling-Technologien und eine digitale Plattform für kreislaforientierte Aluminiumwirtschaft zu entwickeln. Das im Rahmen von HORIZON Europe geförderte Projekt vereint 19 Partnerorganisationen aus neun europäischen Ländern und wird vom LKR Leichtmetallkompetenzzentrum Ranshofen koordiniert, einer 100-prozentigen Tochtergesellschaft des AIT Austrian Institute of Technology. Die Initiative zielt

darauf ab, eine neue Ära der nachhaltigen Produktion und Wiederverwendung für Aluminium einzuleiten, indem sie ein digitales Cockpit, den RecAL Hub, schafft. Dieser ermöglicht die Kreislaufwirtschaft von Aluminium Recyclaten über den gesamten Kontinent hinweg und verbindet Lieferanten, Käufer und technologische Lösungsanbieter.

Kreislaufwirtschaft als Zukunft für europäisches Aluminium

Das Recycling von Aluminium aus bestehenden End-of-Life (EoL)- und Produk-

tionsabfällen birgt enormes Potenzial und benötigt lediglich fünf Prozent der Energie, die für die Herstellung von Primärmaterial erforderlich ist. Angesichts seiner entscheidenden Rolle bei der globalen Dekarbonisierung zielt das Projekt RecAL in Einklang mit dem Europäischen Green Deal darauf ab, das Potenzial dieses Rohstoffes umweltfreundlich und effizient auszuschöpfen.

Eine der großen Herausforderungen beim Recycling von Aluminium besteht darin, dass das Metall mit einer Vielzahl anderer Elemente legiert ist, die praktisch unmöglich wieder davon zu trennen sind.

Die derzeitige Praxis, verschiedene EoL-Legierungen zu mischen, führt zwangsläufig zu Downcycling und einer Reduktion der verfügbaren Ausgangswertstoffe. Europa birgt ein reiches Potenzial für sekundäres Aluminium, das bis 2050 voraussichtlich 49 Prozent der gesamten Aluminiumproduktion ausmachen wird. Diese potenzielle Ressourcenquelle benötigt jedoch einen zentralen Hub.

Ziele von RecAL

Das Projekt RecAL verfolgt einen umfassenden Ansatz, um diese wertvolle sekundäre Ressource nachhaltig zu nutzen. Es adressiert strategisch jeden Schritt des Produktions- und Wiederverwendungskreislaufs und löst Herausforderungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette:

- Höhere Verunreinigungstoleranz im Legierungsdesign, ohne die Eigenschaften zu beeinträchtigen.
- Ausnutzung der Vorteile von Digitalisierung und Robotik bei der Sortierung und Demontage.
- Schaffung von Recyclatströmen mit erheblich verbesserten Reinheiten.
- Anpassung von Produktionsparadigmen, um das volle Potenzial sekundärer Ressourcen freizusetzen.
- Harmonisierung der Kommunikation zwischen allen Sektoren der Aluminiumindustrie.

Mit einem starken Fokus auf Innovation treibt RecAL insgesamt 14 bedeutende technologische Lösungen für Aluminiumrecycling bis zum Technologiereifegrad 6 (TRL6) voran. Diese werden in ein digitales, soziotechnisches Ökosystem integriert, das als Aluminium-Hub für die Kreislaufwirtschaft fungiert. Diese dynamische Plattform fördert die unmittelbare Zusammenarbeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette und trägt maßgeblich zur industriellen und technologischen Symbiose im großen Stil bei, indem sie Energie-, Ressourcen- und Datenkreisläufe auf regionaler und europäischer Ebene miteinander verknüpft.

Innovatives Zusammenspiel von Forschung und Industrie

Das RecAL-Konsortium besteht aus 19 europäischen Partnern aus Forschung und Industrie. Geleitet wird das Projekt vom LKR Leichtmetallkompetenzzentrum Ranshofen des AIT Austrian Institute of

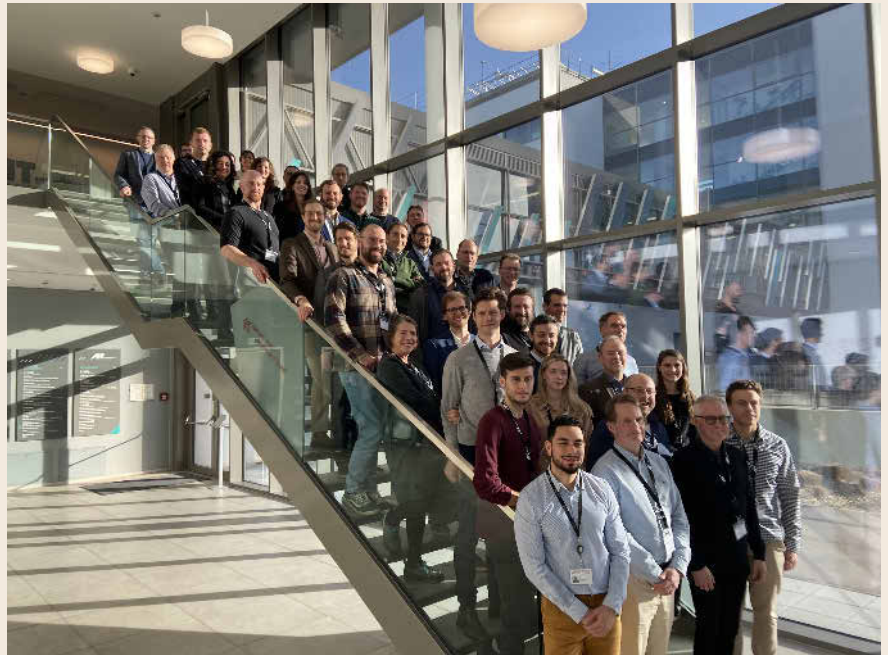


Bild 2 Die Teilnehmenden am RecAL Kickoff. Foto: AIT Florian Hainz



Bild 3 Gerald Prantl, RecAL-Projektleiter vom LKR Leichtmetallkompetenzzentrum Ranshofen. Foto: AIT Johannes Zinner

Technology. Neben der Projektkoordination verantwortet das LKR das Workpackage Cluster C, in dem neue Ansätze für recycling-tolerante Legierungen für die wichtigsten Legierungskategorien untersucht und zusammen mit namhaften europäischen Partnern direkt im industriellen Umfeld erprobt werden sollen.

„RecAL zielt darauf ab, das immense Potenzial sekundärer Aluminiumressourcen in Europa voll zu erschließen, Recyclingprozesse zu revolutionieren, zentrale Herausforderungen in der Legierungsentwicklung anzugehen und nachhaltige Praktiken zu fördern“, erklärt Projektleiter Gerald Prantl vom LKR Leichtmetallkompetenzzentrum Ranshofen.

Das Projektkonsortium:

- AIT Austrian Institute of Technology / LKR Leichtmetallkompetenzzentrum Ranshofen (Koordination)
- RTDS Association
- Aircraft End-of-Life Solutions (AELS)
- Aloumyl, Biomichania Alouminioy Anonimi Etaireia
- Benteler Automobiltechnik
- Barna Steel
- Centre for Research & Technology, Hellas – CERTH
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
- Fraunhofer Gesellschaft
- Gebauer & Griller
- CANCOM Austria
- KU Leuven
- Leitat Technological Center
- Stena Aluminium
- Swerim
- Università degli Studi di Firenze
- Università degli studi di Modena e Reggio Emilia
- Centro Tecnologico CEIT
- Altek Europe

Kontakt:

AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Giefinggasse 4
1210 Wien, Austria
www.ait.ac.at

Bild 1 Materialauswahl und Konstruktionsprinzip des Gehäuses haben großen Einfluss auf die Klangqualität eines Lautsprechers. Foto: PantherMedia / 3dmentat



Fraunhofer IWU nutzt Pilzmyzel als nachhaltigen Hightech-Werkstoff im Lautsprecherbau

Wenn 3D-gedruckte Pilze Musik machen

Pilzmyzel ist ein nachwachsender Rohstoff. In der Pharmazie ist er seit vielen Jahren nicht mehr wegzudenken. Doch Pilzmyzel hat noch viel mehr Potenzial. Als biologisch abbaubarer Werkstoff kann es verschiedene Materialien nachhaltig ersetzen, wie beispielsweise tierisches Leder, Verpackungsmaterial aus Holz, Pappe oder Styropor und Dämmwolle.

Ein Forscher*Innenteam am Fraunhofer IWU erschließt nun ein weiteres Einsatzgebiet für den Pilzmyzelwerkstoff: Als komplexe Funktionseinheiten zusammenfassende Bauteile, die hochwertige Transmissionline-Lautsprecher noch besser klingen lassen.

Das ehrgeizige Ziel lautet, Lebend-Myzel im 3D-Druck zu verarbeiten und anschließend gezielt im Wachstum zu beeinflussen, um in einem Vorgang sowohl schallreflektierende als auch schallabsorbierende Eigenschaften zu erzielen.

Besonders vielversprechend sind die Ergebnisse zur Programmierbarkeit (bzw. Beeinflussbarkeit) des Pilzmyzelwerkstoffs im Hinblick auf die spezifischen Anforderungen im Lautsprecherbau. Für den jeweiligen Einsatzzweck erwünschte Materialeigenschaften sind in der Kultivierung des Myzels durch Beeinflussung der Umweltbedingungen gezielt einstellbar. So lassen sich schaumartige Strukturen besonders zur Schallabsorption bzw. Dämpfung unerwünschter Schwingungen nutzen, während feste und glatte Strukturen sehr gut für die Schallreflek-

tion geeignet sind. Myzel ist also sowohl als Dämmmaterial als auch für das Gehäuse geeignet.

Funktionskomponenten und Lautsprechergehäuse werden gedruckt

Sogenannte Transmissionline-Lautsprecher setzen für einen guten Tiefbass und möglichst wenig Resonanzen (Eigenschwingungen) des Lautsprechergehäuses auf eine Schallaustrittsöffnung im Gehäuse, die mit einem bis zu drei Meter langen Rohr im Inne-



Beispiel:
Transmissionline
Lautsprechergehäuse

Bild 2 Schematische Darstellung der komplexen Geometrie eines Lautsprechergehäuses mit Transmissionline. Grafik: Fraunhofer IWU

ren des Gehäuses verbunden ist. Dieses Rohr muss in der Lautsprecher-Box mehrfach gefaltet werden, um Platz zu finden – wodurch sich eine komplexe Geometrie ergibt. Allein die hohen Herstellungskosten halten viele Hersteller mittlerweile von diesem Konstruktionsprinzip ab. Diese Herausforderung löst der Vorschlag des IWU-Teams auf elegante Weise: Durch werkzeuglosen Druck von Funktionskomponenten und Lautsprechergehäuse. Ganz nebenbei reduziert sich auf diese Weise die Zahl von Klebe- und sonstigen Fügeverbindungen. Insgesamt sind für die Herstellung also deutlich weniger Prozessschritte als bei konventionellen Fertigungsverfahren nötig.

Werkstoff ist in großen Mengen verfügbar

Für Pilzmyzel als Werkstoff sprechen weitere Kostenargumente. Das Recycling organischer Substrate als Grundlage des Werkstoffs ist ebenso kostengünstig wie die Verarbeitung bei geringem Energieaufwand. Pilzmyzel kommt im Boden in großen Mengen vor. Es lässt sich auch aus organischen Reststoffen wie Stroh, Holzresten, Sägespänen, Schilfresten oder Rückständen beim Bierbrauen (Treber) gewinnen. Nicht zuletzt sprechen ökologische Argumente für diesen Werkstoff. Während bei einer zerspannenden Herstellung durch Zuschnitt, Fräsen oder Bohren viel Abfall entsteht, ist es beim 3D-Druck von Pilzmyzel genau umgekehrt: der druckbare Werkstoff basiert auf organischen Reststoffen; verarbeitet wird nur, was benötigt wird. Das Material ist völlig ungiftig, Speisepilzen vergleichbar und vollständig biologisch abbaubar.

Basis für das Projekt „Mycoustics“ sind bisherige Grundlagenforschungen am Institut zur Kultivierung und den Verarbeitungsmöglichkeiten des Myzelwerkstoffs. Darüber hinaus verfügt das Fraunhofer IWU über viel Expertise in technischer Akustik und Additiver Fertigung. Das Institut beherrscht eine breite Palette von Methoden zur Analyse, Simulation und Optimierung für die gesamte Kette der Schallentstehung (Anregung, Übertragung,



Bild 3 Schaumartige Strukturen absorbieren (schlucken) den Schall und reduzieren unerwünschte Schwingungen. Foto: Fraunhofer IWU



Bild 4 Feste Strukturen reflektieren den Schall und sind somit für die Rahmenstrukturen einer Transmissionline bestens geeignet. Foto: Fraunhofer IWU

Schallabstrahlung). Es leitet außerdem das Fraunhofer Kompetenzfeld Additive Fertigung mit deutschlandweit zwanzig Fraunhofer-Instituten; einer der eigenen Forschungsschwerpunkte ist funktionsintegrierter 3D-Druck für Anwendungen unterschiedlichster Branchen.

Terminhinweis:

Vom 11. bis 13. Juni 2024 veranstaltet das Fraunhofer IWU in Dresden die BioM, die bedeutendste internationale Tagung für Biomanufacturing und verwandte Gebiete. Sophia Elsner wird im Rahmen der BioM die Forschungsergebnisse zur Kultivierung und Druckbarkeit des Pilzmyzelwerkstoffs vorstellen. ■

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Reichenhainer Straße 88
09126 Chemnitz
www.iwu.fraunhofer.de

Bild 1 Gardena setzt beim „Gardena Smart Sensor“ auf das Klebstoff-Know-how von Ruderer. Foto: Ruderer



Gardena setzt auf das Klebstoff-Know-how von Ruderer

Sensortechnik smart verklebt

Das Herzstück des „Smart Home Systems“ der Gardena GmbH ist der Smart Sensor. Er ermittelt die vorhandene Feuchte im Boden und gibt diese Information an die dazugehörige App weiter. Gartenbesitzer können jederzeit auf diese Messdaten zurückgreifen und dadurch ihre Pflanzen mit der optimalen Menge an Wasser versorgen. Der Erfolg dieser „smarten“ und vor allem wassersparenden Methode beruht einzig und allein auf den exakten Berechnungen des Sensors. Verlässlichkeit bei den Angaben setzt allerdings voraus, dass die im Außenbereich eingesetzten, sensiblen Bauteile sorgfältig fixiert und geschützt werden. Dies ist mit dem Hochleistungsklebstoff technicoll 9411 der Ruderer Klebetechnik GmbH gelungen, der den geforderten Anforderungen im Freien, wie z.B. Alterungs-, Temperatur- und Wasserbeständigkeit - selbst unter den härtesten Umgebungsbedingungen - gerecht wurde.

Die Ruderer Klebetechnik GmbH ist auf die Entwicklung, Herstellung und den Vertrieb von Klebstoffen für Handel, Handwerk und Industrie

spezialisiert. Dem Kleben und Abdichten im Außenbereich kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Damit geklebte Bauteile, die permanent äußeren Einflüssen wie Wind, Wetter, Sonne und Kälte ausgesetzt sind, langzeitstabil bleiben,

muss sich der verwendete Klebstoff robust, dynamisch und flexibel verhalten. Intensive Sonneneinwirkung, extreme Temperaturen oder Nässe können die Klebung schwächen, sodass es im schlimmsten Fall zum Haftungsverlust

zwischen Klebstoff und Füge­teil kommt. Auch sollten Klebeverbindungen im Freien keine hohen, inneren Spannungen aufweisen, da Risse die Klebefuge nicht nur anfällig für äußere Einflüsse machen, sondern auch dauerhaft schädigen. Mit seinen zum Teil selbst hergestellten, witterungsbeständigen Spezialklebstoffen für den Außenbereich hat das Unternehmen Ruderer in den vergangenen Jahrzehnten zahlreiche Industriekunden aus den verschiedensten Branchen beliefert.

Ein wassersparendes System - ein wasserdichter Klebstoff

Auf der Suche nach dem richtigen Klebstoff zur Herstellung des Bodenfeuchtesensors „Gardena Smart Sensor 19040“ ist die Firma Gardena beim Klebstoffexperten Ruderer fündig geworden. Der Sensor repräsentiert das Herzstück des Gardena Smart Systems. Er basiert auf neuester Technologie und ermöglicht eine vollautomatische, professionelle und intelligent abwickelte Pflanzen- und Gartenpflege. Der Gardena Smart Sensor misst sowohl die Temperatur als auch die Bodenfeuchtigkeit im Wurzelbereich von Pflanzen und sendet die Messergebnisse an eine App. Durch eine intelligente Verknüpfung von Wettervorhersagen und Zeitplänen können Anwender ihren Pflanzen genau die Menge an Wasser zukommen zu lassen, die sie zum Gedeihen brauchen. Im Idealfall lassen sich dadurch bis zu 70 Prozent des Wassers einsparen. Damit dieses wassersparende System einwandfrei funktioniert, muss die empfindliche Elektronik des Sensors sehr gut fixiert und abgedichtet sein. Da der Sensor in ein Pflanzenbeet, einen Blumentopf oder Rasen gesteckt wird und etwa 20 Millimeter aus der Erde herausragt, besteht die Anforderung an den Klebstoff einerseits darin, den thermischen und mechanischen Anforderungen standzuhalten, andererseits sollte er flexibel genug sein, um die Leiterplatte für die elektronischen Bauteile - bestehend aus gehärtetem Epoxidharz und Glasfasergewebe - langfristig stabil auf einem Kunststoffgehäuse zu befestigen.

Hohe Umweltverträglichkeit

Das Kunststoffgehäuse, das mit dem Verbundwerkstoff verbunden wird, besteht aus dem thermoplastischen Kunststoff ABS. Damit die feinen Strukturen der



Bild 2 Gardena Smart Sensor inklusive Klebstoffraupe. Das Kunststoffgehäuse, das mit dem Verbundwerkstoff verbunden wird, besteht aus dem thermoplastischen Kunststoff ABS. Beim Kleben der Teile ist es wichtig, dass der verwendete Klebstoff die beiden Materialien absolut dicht und formstabil miteinander verbindet. Foto: Ruderer

elektronischen Komponenten weder durch Wind und Wetter noch durch Temperaturschwankungen nachhaltig beschädigt werden, war es vor allem wichtig, dass der verwendete Klebstoff die beiden Materialien absolut formstabil miteinander verbindet. Zudem wurde ein Maximum an Elastizität, Vibrations- und Verformungsfähigkeit sowie eine hohe Belastungsresistenz gegenüber Umwelteinflüssen gefordert. Mehrere Klebstoffe kamen für die Anforderungen in Frage. Bei den Tests erzielte der schnellhärtende 2-K MMA Klebstoff technicoll 9411 die besten Ergebnisse. Punkten konnte er vor allem mit seiner raschen Aushärtung, der hohen Klebkraft sowie der sehr guten Wasser-, Alterungs-, Medien- und Temperaturbeständigkeit. Aufgrund seiner flexiblen Eigenschaften hielt technicoll 9411 allen dynamischen Belastungen stand und zeigte sich resistent gegenüber UV-Strahlung, Hitze, Kälte, Nässe und Feuchtigkeit. Die hohe Viskosität dieses flexiblen und spannungsausgleichenden Hochleistungsklebstoffs ermöglichte zudem einen effizienten und punktgenauen Klebstoffauftrag ohne ungewolltes Abfließen.

Nachhaltig Kleben - nachhaltig Wasser sparen

Durch die schnelle Aushärtung und das einfache Handling des 2-K MMA Klebstoffs technicoll 9411 profitieren Anwen-

der von sehr kurzen Taktzeiten. Im automatisierten Produktionsprozess bei Gardena sorgte das für mehr Prozesssicherheit und eine gleichbleibend hohe Qualität bei der Fertigung des Gardena Smart Sensors. Mit technicoll 9411 ist es dem Gartentechnikspezialisten nicht nur gelungen, die Sensorbauteile seines Gardena-Smart-Systems langfristig stabil zu fixieren, sondern gleichzeitig auch vor Luftfeuchtigkeit, Regen und Korrosion zu schützen. So kann der Bodenfeuchtesensor dem Bewässerungscomputer verlässliche Daten für eine smarte, auf die jeweiligen Witterungsverhältnisse abgestimmte, vollautomatisierte Gartenbewässerung liefern. Anwendern hingegen bleibt das schweißtreibende Gießen erspart, welches sich dank Sensor bequem aus der Ferne steuern lässt. Diese innovative Bewässerungsmethode für einen sparsamen und schonenden Umgang mit unserem Wasser lässt sich jeder Garten umweltfreundlicher und die Gartenpflege einfacher gestalten. Und auch die Pflanzen lassen nie wieder die Köpfe hängen, da sie selbst in Trockenzeiten von einer optimalen und bedarfsgerechten Bewässerung profitieren. ■

Kontakt

Ruderer Klebetechnik GmbH
Harthauer Str. 2
85604 Zorneding
www.ruderer.de

Bosch setzt bei Mild-Hybrid-System auf Delo-Klebstoff

Kleber für ein cleveres Kühlkonzept

48-V-Batterien können CO₂-Emissionen bereits kurz- und mittelfristig um bis zu 15 Prozent reduzieren. Bosch gilt als technologisch führender Anbieter in diesem Bereich und bietet Fahrzeugherstellern mit seiner Batterie eine leistungsfähige wie clevere Lösung. Keine unwesentliche Rolle spielt hier ein Klebstoff von Delo.

Seine wichtigste Eigenschaft ist die gute Wärmeleitfähigkeit von 1,0 W/(m·K). Damit lassen sich Batteriezellen nicht nur in das Batteriegehäuse einkleben. Auch die im Betrieb entstehende Wärme kann effizient abgeführt werden. Der Klebstoff kombiniert damit strukturelle Befestigung und Anbindung des Wärmemanagementsystems in einem Schritt, anstatt die Batteriezellen mechanisch zu fixieren und anschließend sogenannte Gap Filler für die Wärmeableitung einzusetzen. Das spart einen Prozessschritt und vereinfacht die Fertigung.

Das speziell für Bosch entwickelte Produkt ist flammhemmend nach dem Branchenstandard UL 94 V-0, für den gesamten Temperatureinsatzbereich der Batterie ausgelegt und bietet gute Festigkeiten auf Batteriezellen und typischen Gehäusematerialien. So beträgt etwa die Zugscherfestigkeit auf Aluminium 18 N/mm². Der Klebstoff ist auch im Hinblick auf Fertigungsprozesse optimiert. Er ist mit Kameras gut detektierbar, was Bosch eine genaue Auftragskontrolle und damit hohe Qualitätssicherung erlaubt.

Der Clou: Robuste Zellen und ein cleveres Kühlkonzept

Die 48-V-Systeme von Bosch sind so kompakt gebaut, dass sie den Fahrzeugherstellern maximale Flexibilität beim Einbau erlauben. In der Höhe misst die Batterie lediglich 140 Millimeter. Damit kann sie beispielsweise im Kofferraum oder unter dem Beifahrersitz platziert werden. Der Schlüssel zum kompakten Design liegt in ihrer thermischen Auslegung. So hat Bosch mit Partnern besonders robuste Lithium-Ionen-Zellen entwickelt. Sie leisten ihren Dienst auch bei Temperaturen von bis zu +75 °C. Dank ihrer größeren Hitzebeständigkeit ist ein einfacheres Kühlkonzept möglich.

Mild-Hybrid-Systeme spielen eine bedeutende Rolle auf dem Weg zur emissionsfreien Mobilität der Zukunft. Die 48-Volt-Batterie ist dabei das Kernelement von Fahrzeugen mit Mild-Hybrid-Systemen. Durch die Unterstützung des Verbrennungsmotors reduziert sie den Kraftstoffverbrauch und damit auch den



Das clevere Kühlkonzept der kompakten 48-V-Batterie von Bosch wird auch dank eines speziellen Delo-Klebstoffs ermöglicht. Foto: Bosch

CO₂-Ausstoß. Als kosteneffizienter Einstieg in die Elektrifizierung nützt sie Herstellern wie auch Verbrauchern. Bosch erwartet, dass der Anteil an weltweit pro Jahr verkauften Pkw und leichten Nutzfahrzeugen mit 48-Volt-Systemen bis 2025 auf 20 Prozent steigt. 48-Volt-Batterien von Bosch befinden sich bereits in vielen Fahrzeugen weltweit. ■

Kontakt

Delo Industrie Klebstoffe
Delo-Allee 1
86949 Windach
www.Delo.de

Zentrale Management-Plattform führt CPS-Sicherheitsprodukte zusammen



Sage-One-Dashboard: alle drei Produktlinien von TX-One können zentral gesteuert werden. Foto: Tx-One

TX-One Networks hat auf der Hannover Messe seine neue CPS-Sicherheitsplattform Sage-One vorgestellt. Sage-One ist laut TX-One eine zentrale Management-Konsole, die die CPS-Angriffsfläche der OT-Umgebung überblickt.

Alle drei Produktlinien von TX-One können damit zentral gesteuert werden, so das Unternehmen: Stellar für die Sicherheitsprüfung, Element für die Endpunkt-Sicherheit und Edge für die Netzwerksicherheit. Die Plattform bietet integrierte OT-Sicherheit über den gesamten Lebenszyklus der zu schützenden Objekte hinweg und ermöglicht eine zuverlässige Erkennung sowie Reaktion auf Bedrohungen.

Sage-One deckt den Angaben zufolge im Wesentlichen drei Säulen ab:

- CPS-Angriffsflächen-Management: Sichtbarkeit ist ein zentraler Pfeiler der Cyber-Sicherheit. Sage-One konzentriert sich auf die betriebliche Sicherheit, indem es auf die Anlagen fokussiert und die Sicherheitsinformationen der verschiedenen Kontrollen beleuchtet.
- Integrierter Lebenszyklus-Schutz: Die zentrale Verwaltung vereinfacht die Cybersecurity-Governance und ermöglicht eine kollaborative Verteidigung. Als Abstraktionsschicht rationalisiert Sage-One die Kontextualisierung und Konsolidierung von Daten über verschiedene Produkte hinweg.
- CPS-Bedrohungserkennung und -Reaktion: Sage-One fasst alle Sicherheitsinformationen verschiedener Lösungen zusammen und spürt Risiken auf, um bei Bedarf eine frühzeitige Warnung auszugeben und Reaktion zu ermöglichen.

Um das Ziel der umfangreichen OT-Sicherheit zu erreichen, beinhaltet die Plattform laut TX-One verschiedene Funktionen:

Threat Intelligence bedeutet das Sammeln, Analysieren und Anwenden von Wissen über potenzielle und vorhandene Bedrohungen gegen ein CPS. Verhaltensbasierte KI-Analyse-Funktionen nutzen künstliche Intelligenz, um das Verhalten von Benutzern, Geräten und Systemen innerhalb eines CPS zu überwachen und zu analysieren. Das Compliance Framework bietet einen strukturierten Ansatz zur Einhaltung relevanter Sicherheitsstandards und Vorschriften. Es beinhaltet Richtlinien, Verfahren und Kontrollmechanismen, die sicherstellen, dass jedes System den gesetzlichen Anforderungen, Industrienormen und Best Practices für Sicherheit entspricht. Data Visualizer ist ein Werkzeug, welches komplexe Sicherheitsdaten und -Metriken in eine leicht verständliche visuelle Form wandelt. Über Diagramme, Graphen und Netzwerkkarten können die Sicherheitsverantwortlichen sowohl Muster und Trends als auch

Anomalien schneller erkennen. Ecosystem Integrator hilft dabei, verschiedene Tools und Techniken nahtlos zu integrieren. Dies umfasst die Vereinheitlichung von Datenformaten, die Förderung der Interoperabilität von unterschiedlichen Systemen und die Schaffung einer kohärenten Sicherheitsarchitektur, die das gesamte Ökosystem abdeckt.

Somit konzentrierte sich Sage-One auf die Analyse von unerwartetem Verhalten und unbekanntem Bedrohungen, heißt es weiter. Verdächtige Ereignisse können durch den Abgleich von Endpunkt- und Netzwerk-Telemetrie innerhalb der OT-nativen XDR (Extended Detection and Response) Engine identifiziert werden. Die Plattform vereint fortschrittliche Techniken mit einer benutzerfreundlichen Schnittstelle, um den Schutz kritischer Infrastrukturen zu gewährleisten. Um ein zuverlässiges CPS-Angriffsflächen-Management zu erreichen, bietet Sage-One auch objektorientierte Sichtbarkeit (Asset Centric Visibility), um eine vollständige Übersicht aller Geräte im Netzwerk zu erstellen.

Um eine schnelle Reaktion auf Bedrohungen zu ermöglichen, könne Sage-One als Teil der CPS Threat Detection & Response Orchestration mit Hilfe von Cross-Telemetrie-Analysen Frühwarnungen über verdächtiges Verhalten im Netzwerk ausgeben.

Darüber hinaus schützt die Integrated Lifecycle Protection die Geräte und Systeme über ihre gesamte Lebensdauer hinweg.

www.txone.com

Stellenanzeige

FAU Friedrich-Alexander-Universität Technische Fakultät

Die Technische Fakultät besetzt im Department Maschinenbau zum frühestmöglichen Zeitpunkt eine

W1-Professur für Maschinenelemente im Kontext der Elektromobilität (Tenure Track)

zunächst im Beamtenverhältnis auf Zeit für die Dauer von drei Jahren. Nach positiver Evaluierung ist eine weitere Verlängerung um drei Jahre vorgesehen. Die FAU bietet eine längerfristige Perspektive im Beamtenverhältnis auf Lebenszeit durch anschließende Berufung auf eine W2-Professur, sofern die Anforderungen einer Tenure-Evaluation erfüllt werden.



Effiziente, virtuelle Entwicklung individueller Medizinprodukte

motego als Wegbereiter für die zertifizierungsgerechte Entwicklung innovativer Medizinprodukte

Individuelle Medizinprodukte versprechen Patientinnen und Patienten eine optimal abgestimmte Versorgung [1]. Die moderne Medizin erhebt bereits während der Diagnostik umfassende Daten zu dem Menschen und seinem Krankheitsbild. Auf Basis dieser Daten können individualisierte Medizinprodukte entwickelt werden. Die Entwicklung individualisierter Medizinprodukte stellt Hersteller und Zulieferer allerdings vor verschiedene Herausforderungen: Erhobene Daten, wie die patientenindividuelle Geometrie des Skeletts und seine Belastungen oder individuelle Bedürfnisse (beispielsweise der Bedarf an eine zügige Rehabilitation oder minimale Beweglichkeitseinschränkung) liegen in verschiedenen Unterlagen oder unabhängigen Modellen vor, deren Schnittstellen nur teilweise kompatibel sind. Eine effiziente Individualisierung ist daher durch den derzeitigen Entwicklungsansatz nicht möglich. Teilprozessschritte der Individualisierung, wie beispielsweise die Anpassung und Optimierung des Designs hinsichtlich der individuellen Belastung, können aufgrund intransparenter Datenschnittstellen nur durch zeitaufwändige Iterationsprozesse erfolgreich durchgeführt werden. Für die letztendliche Marktzulassung müssen individualisierte Medizinprodukte strenge, regulatorische Anforderungen erfüllen, die unter anderem Prüfungen zum Nachweis der Sicherheit oder Nachweise der klinischen Leistung und des Nutzens erfordern.

Diese Nachweise können jedoch nicht für jedes individualisierte Produkt vollumfänglich durch den Hersteller erbracht werden, weil sie zeit- und kostenaufwendig sind und das Produkt oft zeitnah zur Verfügung stehen muss. Daher bieten Ansätze zur modellbasierten Prädiktion der Funktionalität und Wirksamkeit von Medizinprodukten das Potential, die Einführung individualisierter Medizinprodukte in die klinische Versorgung zu beschleunigen und in mehr Anwendungsgebieten zu ermöglichen.

Motego für Medizinprodukte

Zur Überwindung dieser Herausforderungen werden am Institut für Maschinenelemente und Systementwicklung der RWTH Aachen (MSE) modellbasierte Systementwicklungsmethoden für die effiziente, zertifizierungsgerechte Produktentwicklung individualisierter Medizinprodukte entwickelt. Diese Methoden basieren auf der ganzheitlichen Systementwicklungsmethode motego, welche am MSE initial für die Entwicklung mechatronischer Produkte entwickelt wurde (wir berichteten in WiGeP News, Ausgabe 2, 2022). Die Grundidee von motego besteht aus den Schritten Model, Test und Go, aus denen der Name der Methode gebildet worden ist. Im Schritt Model werden Entwicklungsdaten in einem Systemmodell in vier Kategorien (Anforderungen, Funktionen, Lösungen, Produktrealisierung) strukturiert und durchgängig vernetzt. Die durchgängige Verknüpfung erhöht die Transparenz von Abhängigkeiten, Entscheidungen und Individualisierungen in der Entwicklung. Im zweiten Schritt (Test) werden

Simulationsmodelle zur virtuellen Absicherung integriert und diese im dritten Schritt (Go) automatisiert in Workflows ausgeführt [2, 3]. Im Rahmen des RUBIN-Projektes „reACT – Resorbierbare Lösungen aus der Aachener Technologieregion“ wird motego zur Entwicklung resorbierbarer Implantate für die optimale Versorgung von Weichteildefekten angewendet und erweitert. motego wird hierfür im Wesentlichen um medizinische Daten und Modelle sowie um Analysen und Bewertungen des Risikos für die erfolgreiche Zertifizierung (Processes for Risk Assessment) erweitert:

Model: Das Systemmodell wird für die Entwicklung individualisierter Medizinprodukte um zertifizierungsrelevante sowie patientenindividuelle Anforderungen und Bedürfnisse erweitert und mit Restriktionen und funktionalen Anforderungen verknüpft. Funktionen und physikalische Effekte, auf deren Basis Lösungen entwickelt werden, sind für die Anwendung im Bereich der Mechanik endlich und bekannt und können mit motego gut abgebildet werden. Für die Anwendung von motego im Bereich der Medizintechnik konnten biochemische Funktionen identifiziert und formalisiert werden. Effekte, die diese spezifischen Funktionen umsetzen, können empirisch ermittelt und modelliert werden (beispielsweise die Resorption von Magnesium durch den Organismus).

Test: Simulationsmodelle aus der medizinischen Domäne (zum Beispiel biomechanisches Modell zur Berechnung der spezifischen Belastung, Modell zur Berechnung der Festigkeit von Magnesium während der Resorption) können äquivalent

zu Modellen aus dem Engineering in das Systemmodell integriert und strukturiert werden. Um die biochemischen Prozesse während der Einheilung von resorbierbaren Implantaten nachvollziehbar in die Entwicklung zu integrieren und über die Zeit zu prüfen, wird das zeitlich veränderliche Produktverhalten abgebildet. Beispielsweise verändert sich die Festigkeit von Magnesium während der Resorption, die jedoch für eine erfolgreiche Versorgung einen spezifischen Grenzwert nicht unterschreiten sollte. **Go:** Die konsistente Verknüpfung des Systemmodells mit den medizinischen Modellen bildet die Grundlage für die Definition von ausführbaren Workflows. Für die Anpassung des Medizinproduktes an patientenindividuelle Anforderungen werden folgende Workflows erarbeitet: Workflows zur Optimierung des patientenindividuellen Produktdesigns, Workflows zur Testung der patientenindividuellen Lösung und Workflows zur Überprüfung der Fertigbarkeit und Nutzung der Lösung. Durch die erarbeiteten Workflows wird ein automatisierter Änderungsprozess ermöglicht. Ergebnis des Änderungsprozesses ist ein individualisiertes Medizinprodukt, welches die patientenindividuellen und produktspezifischen Zulassungsanforderungen erfüllt. **Processes for Risk Assessment:** Die neue EU-Medizinprodukteverordnung fordert nicht nur ein technisch verifiziertes Produkt, sondern insbesondere ein für die Patienten technisch sicheres Produkt [2]. Um die Sicherheit des individualisierten Produktes nachzuweisen, wird motego um Prozesse der Risikoanalyse und -bewertung

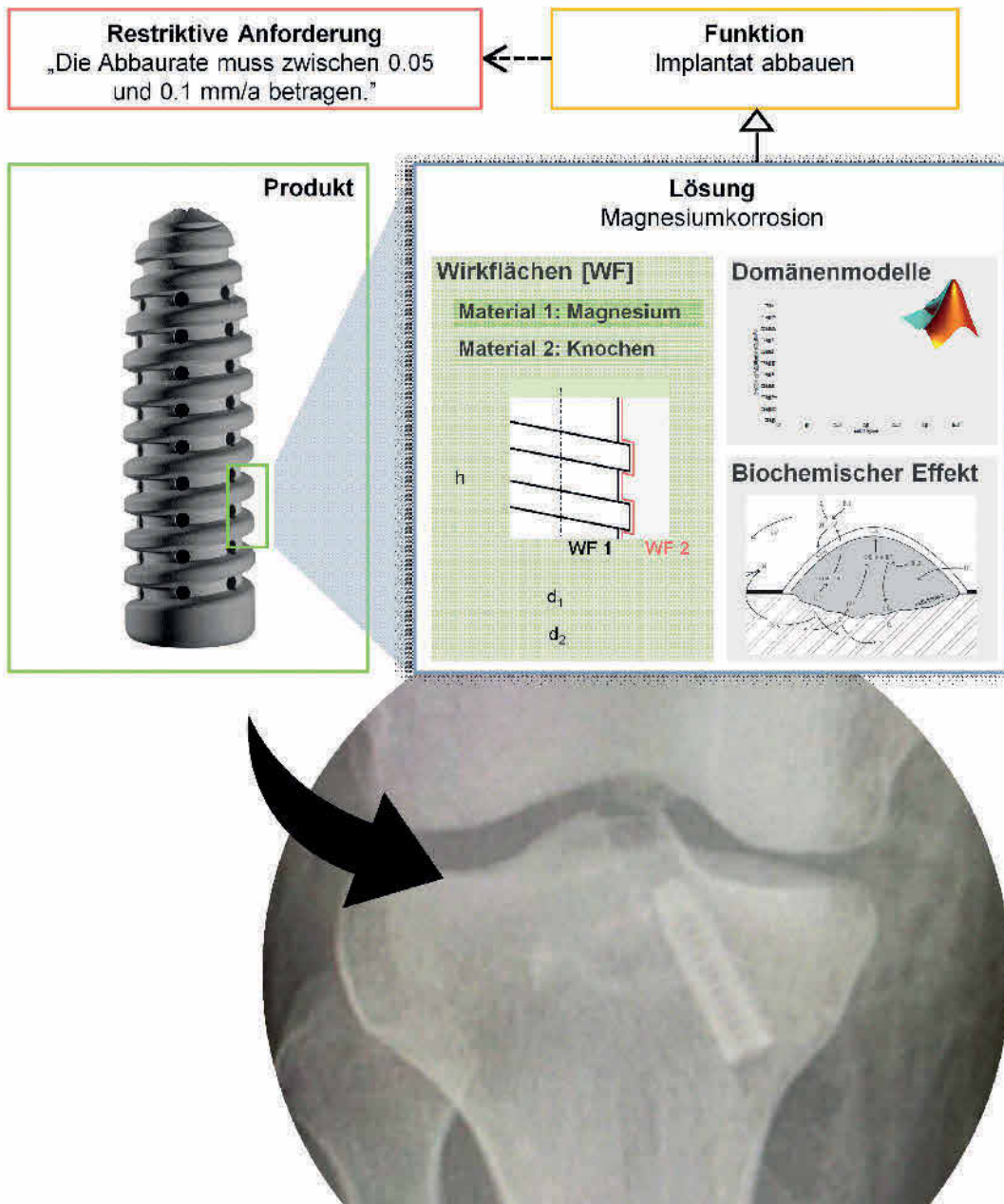


Bild 1: Virtuelle Medizinprodukteentwicklung mit motego. Darstellung eines resorbierbaren Implantats am Beispiel einer Interferenzschraube unseres Projektpartners Medical Magnesium [4].

erweitert. Durch die Erarbeitung einer Schnittstelle zwischen dem Systemmodell und einer modellbasierten FMEA werden Daten aus der Produktentstehung an erforderliche Prozesse des Risikomanagements für Medizinprodukte weitergeleitet. Die technische Sicherheit kann somit auf Basis der weitergeleiteten Daten bereits prozessbegleitend bewertet werden.

Wir freuen uns, motego zusammen mit Partnern aus Industrie und Forschung weiter in die Anwendung zu bringen und kontinuierlich auch für die Entwicklung innovativer Medizinprodukte weiterzuentwickeln.

Literatur

[1]acatech (Hrsg.) (2017): Individualisierte Medizin durch Medizintechnik (acatech POSITI-

ON). München: Herbert Utz Verlag.

- [2]Jacobs, G., Konrad, C., Berroth, J., Zerwas, T., Höpfner, G. und K. Spütz (2022): Function-Oriented Model-Based Product Development. In: Krause, D., Heyden, E. (Hrsg.). Design Methodology for Future Products. Berlin: Springer, Cham.
- [3]Lehrstuhl und Institut für Maschinenelemente und Systementwicklung der RWTH Aachen. motego. URL: <https://www.motego.info/>
- [4]Medical Magnesium GmbH.

mm.IF Interference Screw. URL: <http://www.medical-magnesium.com/produkte/>

Univ.-Prof. Dr.-Ing
Georg Jacobs
Thilo Zerwas, M. Sc.
Franziska Wieja, M. Sc.

Lehrstuhl und Institut für Maschinenelemente und Systementwicklung
RWTH Aachen

Plastische Konditionierung zur Erhöhung des Volumennutzwertes bei kraftschlüssig gefügten Welle-Nabe-Verbindungen

M. Schierz, E. Leidich, M. Ziaei, A. Hasse

KURZFASSUNG Pressverbindungen sind wegen ihrer kostengünstigen Fertigung und ausgezeichneten technischen Eigenschaften in der Antriebstechnik eine sehr häufig zum Einsatz gelangende Welle-Nabe-Verbindung. Besonders zur Übertragung dynamischer Kräfte und Momente bieten sie große Vorteile. In dieser Arbeit wird eine neue Methode zur Auslegung rein elastischer Pressverbände unter Ausnutzung der plastischen Eigenschaften des Werkstoffs vorgestellt. Durch den gezielten Einsatz von Eigenspannungen und die damit verbundene Erweiterung der Elastizitätsgrenze können diese Bauteile Betriebslasten wie Umlaufbiegemomente, Torsion, Temperaturänderungen und Fliehkräfte rein elastisch aufnehmen und plastische Verformungen im Betrieb vermieden werden. Gegenüber herkömmlich gefügten Pressverbänden kann im elastischen Bereich die Belastbarkeit um nahezu 200 % gesteigert und im elastisch-plastischen Bereich eine konkret definierte zusätzliche Sicherheit gegen plastische Verformungen gewährleistet werden.

In diesem Beitrag werden die grundlegenden physikalischen Zusammenhänge des neuen plastischen Konditionierungsverfahrens beschrieben und anhand von analytischen und numerischen Berechnungsbeispielen demonstriert.

Plastic conditioning to increase the Volume utility value of friction-locked shaft-hub connecting elements

ABSTRACT Interference fits are very common shaft-hub connections because of their low-cost production and excellent technical properties. They offer great advantages especially for the transmission of dynamic forces and moments. This paper presents a new method for designing purely elastic interference fits by exploiting the plastic properties of the material. Through the targeted use of residual stresses and the associated extension of the elastic limit, these components can absorb operating loads such as rotating bending moments, torsion, temperature changes and centrifugal forces in a purely elastic manner, and plastic deformation during operation can be avoided. Compared with conventional elastically joined interference fits, the load-bearing capacity can be increased by almost 200 %. Compared to conventional elastically-plastically joined interference fits, a specifically defined additional safety against plastic deformation can be guaranteed. This paper describes the basic physical relationships of the new plastic conditioning process and demonstrates them by means of analytical and numerical calculation examples.

1 Problemstellung

Bei der Konstruktion von Pressverbänden werden Ingenieure häufig mit der Erschließung von Festigkeitsreserven aufgrund von Bauraum- und Gewichtseinsparungen oder Materialsubstitutionen konfrontiert. Die enormen Leistungssteigerungen bei Windturbinen in den zurückliegenden Jahren haben beispielhaft gezeigt, wie erprobte Baugruppen ihre Leistungsgrenze erreichen können. Aber auch bei anderen Anwendungen wird in der Industrie oft nach Festigkeitsreserven gesucht, wenn zum Beispiel hohe Sicherheiten gegen plastische Beanspruchungen gefordert werden.

Zur Herstellung elastisch-plastisch beanspruchter Pressverbände existieren bereits seit geraumer Zeit Berechnungsgrundlagen und Gestaltungsregeln [1-3]. Die Theorie der aktuell gültigen Auslegungsvorschriften [3] beschreibt demnach einen Spannungszustand, welcher nach Abschluss des Fügevorgangs im plastisch beanspruchten Gebiet dieser Bauteile genau auf der idealplastischen Fließgrenze des Materials liegt. Eine zusätzliche Steigerung der Materialbeanspruchung durch dynamische oder

thermische Betriebslasten führt hier zwangsläufig zu weiteren, meist unkontrollierten plastischen Verformungen. Beim Abklingen dieser Belastungen gelangt die Pressverbindung dann durch jene zusätzlichen plastischen Verformungen nicht mehr in den anfänglichen Spannungszustand zurück. Eine Folge davon ist die Reduzierung von Fugendruck in der Kontaktzone, was zur Dezimierung der übertragbaren Kräfte und Momente führt und damit die Betriebssicherheit sowie auch die Lebensdauer der Bauteile gefährden kann. Hierzu gibt es eine Reihe von Veröffentlichungen, in welchen der Fugendruckverlust nach plastischer Beanspruchung von Pressverbindungen während des Betriebs näher untersucht wurde [4-6].

Zur Veranschaulichung dieser Zusammenhänge wird auf die Darstellung der Spannungszustände in **Bild 1** verwiesen. Hier sind die idealplastischen Spannungsänderungen am Innendurchmesser eines unter Innendruck stehenden Außenteils (Nabe) in der Hauptspannungsebene unter der Annahme des ebenen Spannungszustandes (ESZ) dargestellt. Deren Achsen werden durch die Radialspannung σ_r auf der Abszisse und die Tangentialspannungen σ_t auf der Ordinate gebildet. Die Ellipse stellt hierbei die

idealplastische Fließgrenze entsprechend der Gleichungen 2 und 3 (Abschnitt 2.2) dar.

Nach den Auslegungsvorschriften gemäß DIN 7190-1 [3] erfolgt die Herstellung herkömmlich elastisch-plastisch gefügter Pressverbindungen mit vorgegebenem Fugendruck p_F in der bisherigen Praxis während des Fügevorgangs gemäß Bild 1 entlang des Belastungspfades $\overline{\theta E} - \overline{EF}$ (blauer Pfeil / durchgezogene-Linie). Der Neigungswinkel α der Geraden $\overline{\theta E}$ wird dabei nach Kollmann ausschließlich durch das Durchmesserverhältnis Q_A des Bauteils gemäß Gl. 1 bestimmt.

$$\sigma_t = -m \cdot \sigma_r \quad \text{mit} \quad m = \frac{1 + Q_A^2}{1 - Q_A^2} = \tan(\alpha) + \tan(180^\circ - \alpha) \quad \text{und} \quad Q_A = \frac{d_{iA}}{D_{aA}} \quad (1)$$

Punkt F markiert dann den Spannungszustand am Innendurchmesser des Außenteils der Pressverbindung nach Abschluss des Fügevorgangs. Da der Punkt F auf dem Graphen der idealplastischen Fließgrenze liegt, führen Beanspruchungssteigerungen zwangsläufig zu weiteren plastischen Verformungen.

Im vorliegenden Beispiel bewegt sich der Spannungszustand durch Steigerung der Radialspannung zum Punkt K. Nach Rücknahme dieser Steigerung erfolgt eine elastische Entlastung entlang des Entlastungspfades $\overline{KK'}$ (gelber Pfeil / gestrichelt), wobei die Neigung der Entlastungsgeraden gemäß Kollmann ebenfalls durch das Durchmesserverhältnis Q_A des Bauteils gemäß Gl. 1 definiert und damit stets parallel zur Belastungsgeraden ist. Der sich danach einstellende Spannungszustand muss infolge der plastischen Verformungen, welche das ursprüngliche Übermaß verringern, in einem Bereich rechts von $-p_F$ entlang des Entlastungspfades liegen (beispielsweise bei Punkt K'). Der vorherige Fugendruck p_F kann also durch den plastischen Übermaßverlust nicht mehr erreicht werden, wodurch Beeinträchtigungen der Betriebssicherheit der Bauteile möglich sind [7, 8]. Die Beschreibung der Punkte in Bild 1 lautet wie folgt.

- E: Rein elastisch gefügter Zustand an der Fließgrenze
- F: Elastisch-plastisch gefügter Zustand (herkömmlich gemäß DIN 7190-1 [3])
- K: Spannungszustand auf der Fließgrenze bei plastischer Spannungssteigerung nach dem Fügen
- K': Spannungszustand nach Rücknahme der plastischen Spannungssteigerung bei Punkt K

2 Problemlösung durch plastische Konditionierung von Pressverbindungen

2.1 Grundkonzept des Verfahrens

Zur Lösung der vorgenannten Problemstellung wurde eine Methode zur Herstellung einer neuen Generation von Pressverbindungen entwickelt, welche im Weiteren als **plastische Konditionierung** bezeichnet wird. Diese Maschinenelemente sind rein elastisch ausgelegt, obwohl das plastische Potenzial des Werkstoffs in hohem Maße ausgenutzt wird [7, 8]. Die Grundidee dieser Methode der plastischen Konditionierung beruht darauf, dass vor oder während des Fügevorgangs eine elastisch-plastische Vorbehandlung der Fügepartner einer Pressverbindung durchgeführt wird. Beispielsweise durch Aufbringen eines Konditionierungsdrucks p_K auf die Nabe (siehe Bild 2). Dadurch wird der in Bild 1 mittels Pfeile dargestellte Prozess vorweggenommen.

Bei der anschließenden elastischen Entlastung und gegebenenfalls nachfolgenden Wiederbelastung dieser Fügepartner kann ge-

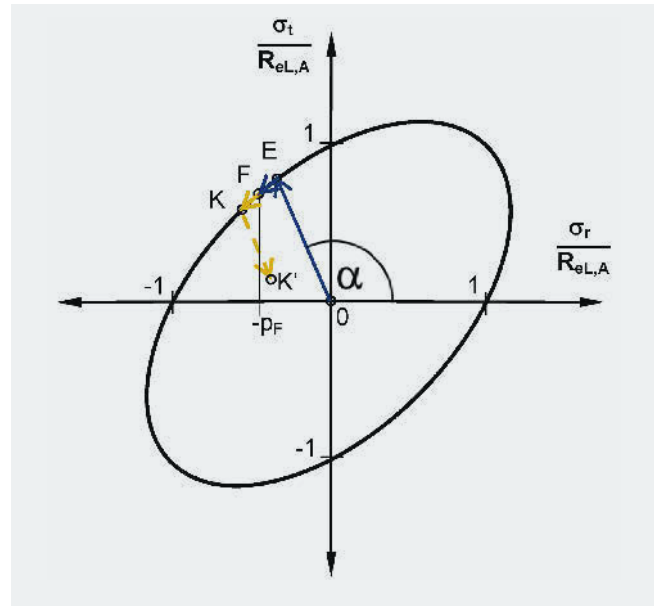


Bild 1. Hauptspannungen am Innendurchmesser des Außenteils einer Pressverbindung mit idealplastischer Fließgrenze (GEH) Grafik: Autoren

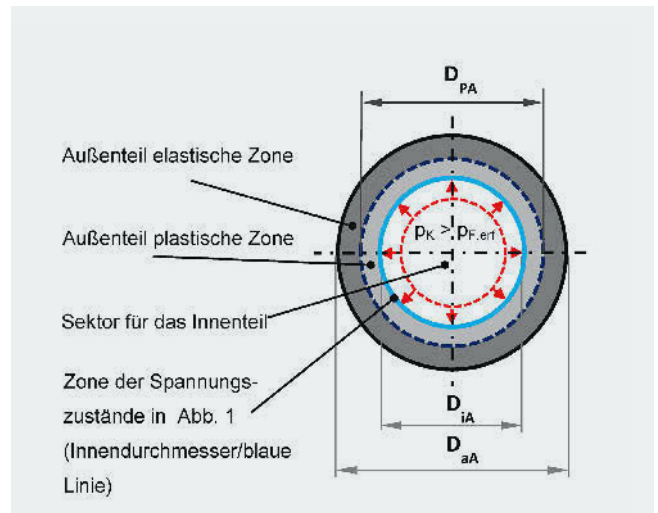


Bild 2. Konditionierung einer Nabe durch Aufbringen eines Konditionierungsdrucks p_K Grafik: Autoren

mäß Bild 3 ein rein elastischer Spannungszustand so hergestellt werden, dass sämtliche zu erwartenden zusätzlichen Beanspruchungen der Nabe während des Betriebes ausschließlich zu rein elastischen Spannungsänderungen führen. Die funktionserhaltende Demontierbarkeit und Wiedermontage elastisch-plastisch gefügter Pressverbände wird dadurch ebenfalls gewährleistet und somit erstmals auch für Öl-Pressverbindungen ermöglicht, was nach aktuell gültiger Normung bisher ausgeschlossen wurde.

Dabei werden die Eigenspannungen im Material berechnungstechnisch gezielt so eingesetzt, dass die Leistungsfähigkeit von herkömmlich elastisch-plastisch gefügten Pressverbindungen [3, 9, 10] erreicht wird. Darüber hinaus kann jedoch die zusätzliche Sicherheit gegen plastische Beanspruchungen während des Betriebs gewährleistet werden. Im Vergleich zu herkömmlich rein elastisch ausgelegten Pressverbindungen [3, 11] ist eine signifikante Steigerung des Fugendrucks und damit der übertragbaren

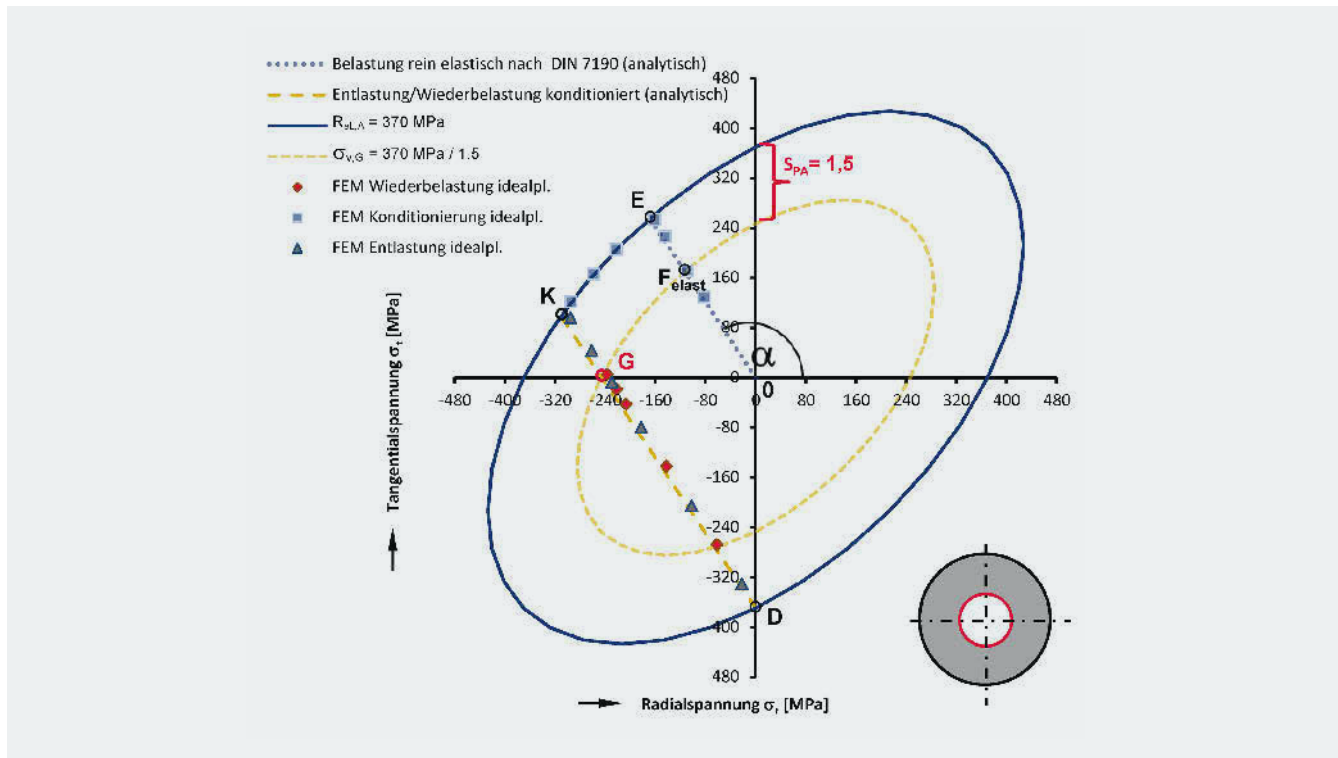


Bild 3. Spannungszustände an einem beliebigen Punkt des Innendurchmessers (rot gekennzeichnet) eines Außenteils mit $Q_A = 0,45$ in der Hauptspannungsebene auf Basis der GEH (idealplastisches Material) beim Konditionieren *Grafik: Autoren*

Kräfte und Momente bei gleicher oder höherer Sicherheit gegen plastische Verzerrung möglich.

Das Verfahren mit seinen grundlegenden Bestandteilen und weiteren ausführlichen Erläuterungen wurde bereits veröffentlicht [7]. Hier werden sowohl die prinzipiellen physikalischen Zusammenhänge als auch Möglichkeiten für deren praktische Umsetzung vorgestellt. Dabei werden die maßgebenden Einflussparameter aufgezeigt und Lösungsansätze für deren Anwendung im ingenieurtechnischen Alltag beschrieben. Weiterführende analytische Berechnungsmethoden mit den zugrundeliegenden spannungsmechanischen Zusammenhängen und zugehörigen Formeln wurden in einer weiteren Publikation ausführlich dargelegt [12].

2.2 Analytische und numerische Untersuchungen (idealplastisch)

Nachfolgend werden am Beispiel einer Nabe mit $Q_A = 0,45$ und einer Streckgrenze von $R_{eLA} = 370$ MPa die analytischen und numerischen Berechnungsmethoden für die plastische Konditionierung von Pressverbindungen demonstriert und dabei der Bezug zu den jeweiligen Spannungszuständen in der Hauptspannungsebene (Bild 3) hergestellt. Zur besseren Anschaulichkeit werden hierbei auf die Darstellung der Welle verzichtet und die folgenden Betrachtungen auf Basis der Radialspannung am Innendurchmesser der Nabe vorgenommen. Diese ist vom Betrag her identisch mit dem Fugendruck der gefügten Verbindung mit Welle und somit ein entscheidender Parameter für die übertragbaren Kräfte und Momente. Ausgehend vom duktilen idealplastischen Materialverhalten, einer Fließbedingung nach der GEH, dem ESZ und einer Sicherheit gegen plastische Beanspruchung von $S_{PA} = 1,5$ werden die erreichbaren Fugendrucke von

herkömmlich rein elastisch gefügten Pressverbindungen denen von plastisch konditionierten gegenübergestellt. Der Einfluss von hierbei möglichen Materialverfestigungsvorgängen wird an anderer Stelle eingehend diskutiert [13, 14]. Als Vergleichsspannungshypothese kommt die GEH zur Anwendung, weil diese mit den in der Praxis gewonnenen experimentellen Ergebnissen für duktiler isotropes Material sehr gut übereinstimmt. Die Fließfunktion der GEH für die Hauptspannungen lautet wie folgt (Gl. 2).

$$F_{GEH} = \frac{1}{6} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] - k^2 = 0 \quad (2)$$

Daraus ergibt sich für den ebenen Spannungszustand (ESZ) in der Hauptspannungsebene eine Fließgrenze in Form einer Ellipse gemäß Bild 3 (geschlossene Linienzüge).

Zur Berechnung der Vergleichsspannung folgt demgemäß nachstehende Gleichung.

$$\sigma_v^2 = \frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_r)^2 + (\sigma_1 - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2] \quad (3)$$

Die Grenzvergleichsspannung $\sigma_{v,Grenz}$ für eine Streckgrenze von $R_{eLA} = 370$ MPa errechnet sich mit einer Sicherheit gegen plastische Verformung von $S_{PA} = 1,5$ als Quotient dieser beiden zu $\sigma_{v,Grenz} = 247$ MPa.

Daraus wird nach Gl. 4 entsprechend der GEH ein elastischer Grenzdruck von $p_{N,Grenz(GEH)} = 113$ MPa ermittelt (siehe auch Punkt F_{elast} in Bild 3), wobei diese aus Gl. 1 in Verbindung mit Gl. 3 für $\sigma_z = \sigma_3 = 0$ folgt.

$$p_{N,Grenz(GEH)} = \sqrt{\frac{\sigma_{v,Grenz}^2}{m^2 - m + 1}} \quad (4)$$

Der Unterschied zwischen der fugendruckbezogenen Sicherheit gegen plastische Verformung und der vergleichsspannungsbezogenen wurde für konditionierte Pressverbindungen bereits umfas-

send erläutert [7, 12]. In diesem Dokument wird stets von einer vergleichsspannungsbezogenen Sicherheit gegen plastische Verformung (S_{PA}) ausgegangen.

Für das aktuelle Beispiel mit idealplastischem Materialverhalten wurde ein Konditionierungsdruck $p_{Kond,max} = -\sigma_r = 311 \text{ MPa}$ verwendet. Nach erfolgter Konditionierung repräsentiert dieser darüber hinaus die neue Belastungsgrenze $p_{N,Grenz(GEH)}$ (Punkt K in Bild 3) für rein elastische Fugendrucke. Erst wenn dieser Druck am Innendurchmesser der Nabe überschritten wird, kommt es zu weiteren plastischen Verformungen.

Der Schnittpunkt (Punkt G in Bild 3) der Entlastungsgeraden \overline{KD} mit der Vergleichsspannungskurve bei $S_{PA} = 1,5$, d.h. der gesuchte Spannungspunkt liegt mit Punkt F_{elast} auf der gemeinsamen Vergleichsspannungskurve $\sigma_{v,Grenz} = 370 \text{ MPa} / 1,5$ (gestrichelte Ellipse in Bild 3), repräsentiert den Fügezustand der Nabe nach vorheriger Konditionierung. Der Fugendruck der konditionierten Pressverbindung beträgt nach Gl. 5 hier $p_{E,Kond} = -\sigma_r = 246 \text{ MPa}$ (siehe Punkt G in Bild 3), was einer Steigerung der Übertragungskapazität der Pressverbindung auf 218 % entspricht.

$$\sigma_v^2 = (m^2 + m + 1) \cdot \sigma_r^2 + (2 \cdot m \cdot y + y) \cdot \sigma_r + y^2 \quad (5)$$

Ausgehend von beliebigen Radialspannungen auf der Entlastungsgeraden kann der Punkt D nach vollständiger Entlastung am Ende des Konditionierungsvorgangs für die GEH wie folgt berechnet werden.

$$D_{\sigma_r(GEH)} = 0; \quad (6)$$

$$D_{\sigma_r(GEH)} = -m \cdot \sigma_r - \left(\frac{\sigma_r}{2} \sqrt{\left(\frac{\sigma_r}{2} \right)^2 - (\sigma_r^2 - \sigma_v^2)} \right)$$

Prinzipiell ist die Methode der plastischen Konditionierung auch bei Hohlwellen möglich, Vollwellen können nicht elastisch-plastisch beansprucht werden, da sie vom rein elastischen Spannungszustand bei entsprechender Beanspruchung unmittelbar in den vollplastischen übergehen und somit für die Konditionierung nicht geeignet sind. Wegen der komplexen spannungsmechanischen Zusammenhänge bedürfen die Hohlwellen jedoch einer eigenständigen Betrachtung, welche im Umfang der vorliegenden Arbeit nicht mit einbezogen werden konnte, in der genannten Literatur jedoch bereits vorgestellt wurde [7].

Zur Verifikation der analytischen Berechnungsergebnisse wurden diese anhand des zweidimensionalen FE-Modells einer identischen Nabe überprüft. Die zugehörigen Daten des numerischen Modells sind nachfolgend aufgelistet.

Die einzelnen Arbeitsschritte der numerischen Untersuchungen werden im Folgenden näher erläutert.

Als Last wird ein Innendruck gemäß Bild 2 aufgebracht. Dieser wird schrittweise bis zum Konditionierungsdruck $p_{Kond,max} = 311 \text{ MPa}$ (Punkt K in Bild 3) gesteigert und dann wieder schrittweise auf 0 abgesenkt (Punkt D). Danach erfolgt eine Wiederbelastung bis $p_{E,Kond} = 246 \text{ MPa}$ (Punkt G) entsprechend der Belastungshistorie analog zu Bild 3. Die zum Vergleich untersuchten Lastschritte sind in **Tabelle 2** aufgelistet.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Graphen der Hauptspannungen entlang des radialen Auswertungspfades über den kompletten Querschnitt der Nabe (siehe roter Pfeil in der Skizze der Diagramme) in Abhängigkeit des aufgetragenen Innendrucks für die Lastschritte 1 und 4. Diese ermöglichen eine Gegenüberstellung der Spannungen in der Nabe für eine herkömmlich nach DIN 7190-1 rein elastisch

Tabelle 1. Modelldaten

Geometriedaten			
Nabenaußendurchmesser	D_{aA}	133,33	mm
Nabennendurchmesser	D_{iA}	60,00	mm
Durchmesser Verhältnis Nabe	Q_A	0,45	-
Nabenmaterial			
Bezeichnung	Ck45		
Streckgrenze	$R_{eL,A}$	370	MPa (idealplastisch)
E-Modul	E_A	205 000	MPa
Querdehnzahl	ν_A	0,3	-
Technologische Daten			
Fugendruck Konditionieren	p_K	311	MPa
Sollsicherheit gegen Plastizieren	S_{PA}	1,5	-

Tabelle 2. Lastschritte Belastungshistorie gemäß Bild 3

Lastschritt	p_i / MPa
1 (F_{elast})	113
2 (K)	311
3 (D)	0
4 (G)	246

gefügte Pressverbindung (**Bild 4**) und einer plastisch konditionierten (**Bild 5**). Bild 4 repräsentiert Lastschritt 1 (Punkt F_{elast} in Bild 3) für einen Druck von $p_i = 113 \text{ MPa}$ bei einer Sicherheit gegen einsetzendes Plastizieren von $S_{PA} = 1,5$. Die zugehörige Vergleichsspannung $\sigma_v = 247 \text{ MPa}$ und Tangentialspannung $\sigma_t = 170 \text{ MPa}$ am Innendurchmesser der Nabe (Radiuskoordinate 30 mm) sind identisch zu den Werten in Bild 3.

Die Hauptspannungen von Lastschritt 4 (Punkt G in Bild 3) mit $p_i = 246 \text{ MPa}$ sind in Bild 5 dargestellt, was einer rein elastischen Beanspruchung der konditionierten Nabe mit $S_{PA} = 1,5$

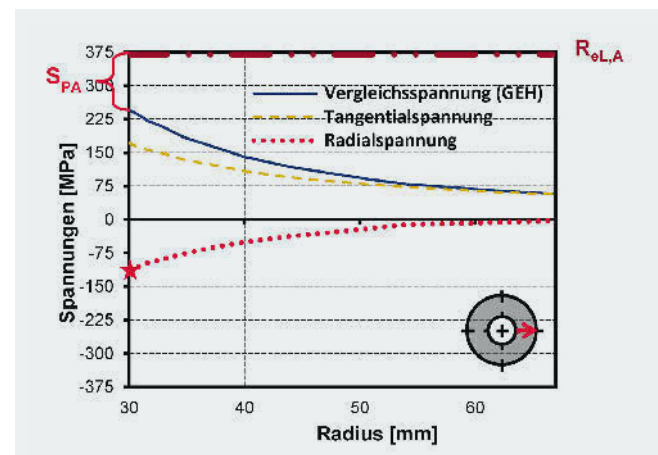


Bild 4. Lastschritt 1 (Punkt F_{elast}); rein elastische Hauptspannungen in der Nabe für $S_{PA} = 1,5$ bei $p_i = 113 \text{ MPa}$ (herkömmlich rein elastisch gefügt nach DIN 7190-1) Grafik: Autoren

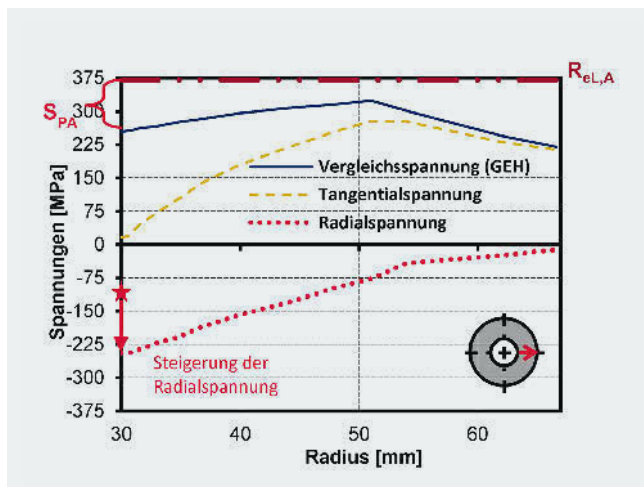


Bild 5. Lastschritt 4 (Punkt G); Hauptspannungen in der Nabe bei $p_i = 246 \text{ MPa}$ und $S_{PA} = 1,5$ nach Konditionierung (bezogen auf die Vergleichsspannung) Grafik: Autoren

entspricht. Beim Vergleich der beiden Bilder 4 und 5 wird ersichtlich, dass die konditionierte Nabe bei gleicher Sicherheit gegen plastische Verformungen eine deutlich höhere Radialspannung zur Übertragung der Kräfte und Momente aufweist als die herkömmlich nach DIN 7190-1 rein elastisch gefügte. Die niedrigen Tangentialspannungen am Nabeninnendurchmesser in Bild 5 entsprechen denen in Bild 3 und verdeutlichen die durch das plastische Konditionieren verursachten Eigenspannungen.

3 Nutzen für den industriellen Einsatz

Durch das **Verfahren der plastischen Konditionierung** können die Belastungsgrenzen der Bauteile bei gleichzeitiger Einsparung von Bauraum, Gewicht, Materialmenge und Arbeitsaufwand gesteigert werden. Auch bei größeren Bauteildurchmessern, wie sie in Windturbinen, Kraftwerken oder im Schwermaschinenbau anzutreffen sind, können wegen der hier verringerten Festigkeitseigenschaften infolge des Größeneinflusses durch die plastische Konditionierung Belastungsreserven erschlossen werden.

Wegen der erforderlichen hohen Übermaße ist das Verfahren besonders für Längs- bzw. Kegelpressverbindungen geeignet. Bei letzteren **kann das Konditionieren in den Fügevorgang integriert werden und verursacht somit keinen zusätzlichen Fertigungsaufwand**. Dazu wird der Aufschubweg entsprechend verlängert und die Nabe nach der Konditionierung auf das Endmaß zurückgeschoben. Naben von Längspressverbänden müssen stets vor dem Fügevorgang konditioniert werden.

Speziell für Öl-Pressverbindungen wird das plastische Potenzial durch das Konditionieren überhaupt erst nutzbar. Aber auch für Querpressverbindungen ist das Verfahren von Interesse, da ein Teil des erforderlichen Übermaßes bereits durch die plastischen Verformungen beim Konditionieren eingebracht wird und auch die Setzverluste in diesem Zusammenhang bereits realisiert werden, was vor allem bei kleineren Fügedurchmessern von Bedeutung ist. Der zusätzliche Aufwand ist dabei überschaubar, da er nur einen zusätzlichen Fertigungsschritt betrifft. Als Werkzeuge können z. B. handelsübliche Spannelemente zum Einsatz gelangen. Bei Verwendung von Konusspannelementen gemäß **Bild 6** (Firma Ringspann GmbH) ist



Bild 6. Welle-Nabe-Verbindung mit Konusspannelement (Nabe innen verspannt) der Firma Ringspann GmbH Foto: Ringspann GmbH

dabei der Konditionierungsprozess ebenfalls in den Montagevorgang integrierbar.

Darüber hinaus ist der Entfall von technologischen Bearbeitungsschritten denkbar, wie z. B. Härten / Vergüten oder Schleifen, da während des Konditionierens bereits Materialverfestigungen oder auch Glättungsvorgänge an den Oberflächen stattfinden.

Auch im Hinblick auf die funktionserhaltende Demontierbarkeit plastisch beanspruchter Pressverbindungen besitzt das Verfahren der plastischen Konditionierung ein hohes Anwendungspotenzial, da auch das Lösen ein rein elastischer Vorgang ist und zu keinen plastischen Verformungen führt

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Abhandlung verfolgt das Anliegen, ein neuartiges Verfahren zur Konditionierung von Pressverbindungen vorzustellen, mit welchem erstmals eine rein elastische Auslegung dieses Maschinenelements unter Ausnutzung der plastischen Materialreserven möglich ist. Dabei haben die vorgestellten Ergebnisse gezeigt, dass gegenüber den herkömmlichen Methoden nach dem Stand der Technik mit dem Verfahren der Konditionierung bei gleicher Sicherheit gegen plastische Beanspruchung wesentlich höhere Fugendrucke erreichbar sind oder bei identischem Fugendruck höhere Sicherheiten gegen einsetzendes Plastizieren. Die übertragbaren Kräfte und Momente konnten hierdurch **nahezu verdoppelt** und die resultierenden Vergleichsspannungen **um mehr als 30 % reduziert** werden.

Damit wird die elastisch-plastische Auslegung dergestalt steuerbar, dass sämtliche betrieblichen Zusatzlasten rein elastisch aufgenommen werden können und somit keine plastischen Veränderungen des Fügezustands verursachen. Zusätzlich ermöglicht dieses Verfahren die Ausnutzung plastischer Materialeigenschaften für Anwendungen, welche bisher mit vorgeschriebenen Sicherheiten gegen einsetzendes Plastizieren eine rein elastische Auslegung zwingend erforderten.

Da in der aktuellen Normung eine rechnerische Überprüfung der Pressverbindungen auf plastische Beanspruchungen während des Betriebes nicht vorgesehen ist, können mit dem neuen Ver-



fahren darüber hinaus rechnerisch nicht erfasste gefährdete Bauteile weitgehend vermieden werden.

Die bisherigen Untersuchungen waren rein theoretischer Natur auf Basis analytischer und numerischer Berechnungen. Jüngere Forschungsvorhaben von Leidich et al. (IKAT) der TU Chemnitz [15] und Binz et al. (IKTD) der Universität Stuttgart [16] haben auch versuchstechnische Analysen plastisch beanspruchter Pressverbindungen zum Gegenstand, bei denen nach dem Fügen ein plastischer Zustand auf der Fließgrenze vorherrscht. Die Arbeiten am IKAT beinhalten im Wesentlichen die Gestaltfestigkeit von partiell plastisch beanspruchten Hohlwellen unter dynamischen Belastungen. Dabei konnten wichtige versuchstechnische Erkenntnisse für die Auslegung solcher hochbeanspruchten Bauteile gewonnen werden [15]. Am IKTD wurden umfassende Untersuchungen des Füge- und Lösevorgangs, der Bauteilverformung, des Versagensverhaltens und der statischen bzw. dynamischen Tragfähigkeit elastisch-plastisch beanspruchter Naben durchgeführt. Im Ergebnis dieser wurden Auslegungsgrenzen für Pressverbindungen mit hohen Übermaßen verifiziert, die Zeitfestigkeit sowie das Steigerungspotenzial hinsichtlich Übertragungsfähigkeit experimentell nachgewiesen und Empfehlungen zum Fügen solcher Pressverbindungen dargelegt [16]. In einem Anschlussvorhaben wird hier weiterhin die Gestaltfestigkeit bei Umlaufbiegung untersucht.

Zur Überführung der Theorie der plastischen Konditionierung in die ingenieurtechnische Praxis sind einerseits die versuchstechnische Validierung der hier beschriebenen analytisch und numerisch gewonnenen Erkenntnisse und andererseits auch dreidimensionale FE-Berechnungen mit gefügter Welle erforderlich, um die Abweichungen im Kantenbereich der Nabe vom bisher betrachteten ebenen Spannungszustand abschätzen zu können. Vor allem bei Umlaufbiegung und beim Längsfügen treten hier unerwünschte Kanteneffekte auf, welche durch die plastische Konditionierung reduziert werden könnten. Der Einfluss der Materialverfestigung wird ein weiterer wichtiger Aspekt bei den Versuchen sein, da diese bei den meisten in der Praxis verwendeten Werkstoffen unter plastischen Beanspruchungen auftritt. Darüber hinaus sind experimentelle Untersuchungen erforderlich, um die technologischen Prozesse zur Herstellung plastisch konditionierter Pressverbindungen abzusichern sowie die Auswirkungen auf deren Gestaltfestigkeit vor allem unter dynamischen Belastungen zu ermitteln. ■

Abkürzungsverzeichnis

AT	Außenteil des PV beziehungsweise des MPV
ESZ	ebener Spannungszustand
FE	Finite Elemente
FEM	Finite-Elemente-Methode
GEH	Gestaltänderungsenergiehypothese nach von Mises
PV	Pressverband / Pressverbindung
MPV	Mehrfachpressverband / Mehrfachpressverbindung
SH	Schubspannungshypothese nach Tresca
IKAT	Institut für Konstruktions- und Antriebstechnik (TU Chemnitz)
IKTD	Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (Universität Stuttgart)

Kurzzeichenverzeichnis

Kurzzeichen	Einheit	Bedeutung
d	mm	Durchmesserkoordinate (Laufvariable)
D_{GA}	mm	Außendurchmesser des Außenteils
D_{F}	mm	Durchmesser der Fuge (Nennmaß)
D_{IA}	mm	Innendurchmesser des Außenteils
D_{PA}	mm	Plastizitätsdurchmesser des Außenteils
$D_{\text{sr(GEH)}}$, $D_{\text{sh(GEH)}}$	MPa	Spannungswerte am Punkt D in der Hauptspannungsebene für Gestaltänderungsenergiehypothese (GEH)
E_{A}	MPa	Elastizitätsmodul des Außenteils
F_{GEH}	MPa	Fließfunktion für Gestaltänderungsenergiehypothese (GEH)
k	MPa	kritischer Wert – Fließbeginn
m	-	Faktor zur Bestimmung des Neigungswinkels α
p_{I}	MPa	Innendruck der Scheibe
p_{E}	MPa	elastischer Fugendruck an der Fließgrenze
$p_{\text{E, Kond}}$	MPa	elastischer Fugendruck nach vorheriger Konditionierung
p_{F}	MPa	Fugendruck
$p_{\text{F, erf}}$	MPa	für die Auslegung der Pressverbindung erforderlicher Fugendruck
p_{K}	MPa	Konditionierungsdruck
$p_{\text{Kond, max}}$	MPa	Maximaler Fugendruck beim Konditionieren
$p_{\text{N Grenz(GEH)}}$	MPa	elastischer Grenzdruck eines Außenteils nach (GEH)
Q_{A}	-	Durchmesserverhältnis des Außenteils
$R_{\text{eL, A}}$	MPa	untere Streckgrenze des Außenteils
r	mm	Radius
S_{P}	-	Sicherheit gegen plastische Verformung
S_{PA}	-	Sicherheit gegen plastische Verformung des Außenteils bezogen auf die Vergleichsspannungen
γ	MPa	Schnittpunkt der Entlastungsgeraden mit der Ordinate (tangentielle Eigenspannung nach vollständiger Entlastung)
α	°	Neigungswinkel für Be- und Entlastungsgeraden
ε_{v}	-	Vergleichsverzerrung
ν_{A}	-	Querdehnzahl des Außenteils
σ_{r}	MPa	Radialspannung
σ_{t}	MPa	Tangentialspannung
σ_{v}	MPa	Vergleichsspannung
$\sigma_{\text{v, G}}$	MPa	Vergleichsspannung im Punkt G
$\sigma_{\text{v, Grenz}}$	MPa	Grenzvergleichsspannung
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	MPa	Hauptspannungen des Spannungstensors

Literatur

- [1] Kollmann F G (1978) Die Auslegung elastisch-plastisch beanspruchter Querpressverbände. *Forschung im Ingenieurwesen* 44:1–11
- [2] Kollmann F-G (1984) Welle-Nabe-Verbindungen. *Konstruktionsbücher*, Band 32. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo
- [3] DIN 7190-1:2017: Pressverbände – Teil 1: Berechnungsgrundlagen und Gestaltungsregeln (2017).
- [4] Leidich E, Lätzer M (2011) FVA-Nr. 566 I -Heft 993– Übertragungsfähigkeit von Klemmverbindungen unter besonderer Berücksichtigung plastischer Verformungen. Abschlussbericht, Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V., Frankfurt/Main
- [5] Kovács Á (1994) Thermal stresses in a shrink fit due to an inhomogeneous temperature distribution. *Acta Mechanica* 105
- [6] Mack, W (1986) Spannungen im thermisch gefügten elastisch-plastischen Querpreßverband mit elastischer Entlastung. *Ingenieur-Archiv* 56:301–313
- [7] Schierz M (2018) Steigerung des elastischen Potenzials von Pressverbindungen durch plastische Konditionierung der Fügepartner. Dissertation, Technische Universität Chemnitz, Chemnitz
- [8] Schierz M, Leidich E, Ziaei M (2018) Plastisch konditionierte Pressverbindungen. In: VDI (Hrsg) Welle-Nabe-Verbindungen. VDI-Berichte Nr. 2337
- [9] Schierz M, Leidich E (2008) FVA- Nr. 424 II – Heft 871– Erweiterung des Berechnungsprogramms PressFit®. Abschlussbericht, Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V., Frankfurt/Main
- [10] Schierz M (2015) FVA- Nr. 424 III – Heft 1170– Erweiterung des Berechnungsprogramms PressFit® für elastisch und elastisch-plastisch beanspruchte Mehrfachpressverbände (MPV). Abschlussbericht, Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V., Frankfurt/Main
- [11] DIN 7190-2:2017: Pressverbände – Teil 2: Berechnungsgrundlagen und Gestaltungsregeln für kegelige, selbsthemmende Pressverbände (2017).
- [12] Schierz, M. (2020) Plastische Konditionierung von Pressverbindungen in der Antriebstechnik – ein Verfahren mit Potenzial. *Forsch Ingenieurwes* 84, S. 345–355. <https://doi.org/10.1007/s10010-020-00419-w>
- [13] Schierz, M. (2022) Increase in Elastic Stress Limits by Plastic Conditioning: Influence of Strain Hardening on Interference Fits. *Applied Mechanics* 3, no. 2, S. 375–389. <https://doi.org/10.3390/applmech3020023>
- [14] Schierz M, Hasse A (2024) The Influence of Reverse Yielding on the Plastic Conditioning of Interference Fits in Power Transmission Engineering. *Applied Mechanics* 5, no. 1, S. 73–90. <https://doi.org/10.3390/applmech5010005>
- [15] Günther C, et al. (2019) Untersuchung der Gestaltfestigkeit hochbeanspruchter Hohlwellen-Pressverbindungen. *Dresdner Maschinenelemente Kolloquium*, 26.-27.12.2019, Dresden, S. 381–392. – Göttingen : Sierke Verlag
- [16] Kröger, J.; Binz, H. (2020) Untersuchungen zu Auslegungsgrenzen und Steigerung der maximalen Übermaße bei zylindrischen Pressverbindungen. Abschlussbericht zum FVA-Forschungsvorhaben Nr. 810 I, Heft 1399.

Dr.-Ing. **Mario Schierz**

m.schierz@ingenieurservice-schierz.de
Ingenieur-Service Schierz
Skalablick 7, 02708 Löbau

Prof. Dr.-Ing. **Erhard Leidich**

erhard.leidich@mb.tu-chemnitz.de
Technische Universität Chemnitz
Fakultät für Maschinenbau
Professur Maschinenelemente und
Produktentwicklung, 09107 Chemnitz

Prof. Dr.-Ing. habil. **Masoud Ziaei**

Masoud.Ziaei@fh-zwickau.de
Westfälische Hochschule Zwickau
Fakultät für Automobil- und Maschinenbau
Professur Maschinenelemente
Dr.-Friedrichs-Ring 2a, 08056 Zwickau

Prof. Dr. sc. ETH **Alexander Hasse**

alexander.hasse@mb.tu-chemnitz.de
Technische Universität Chemnitz
Fakultät für Maschinenbau
Professur Maschinenelemente und
Produktentwicklung, 09107 Chemnitz

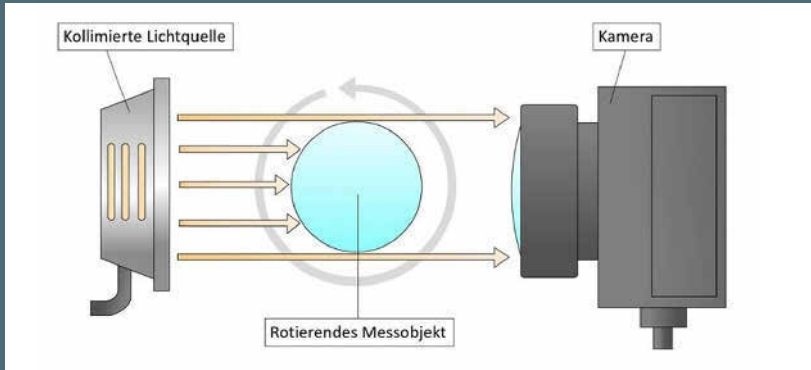
Weltweit kleinster Haptiksensoren für Medizin-, Service- und Robotik

Die Resense GmbH aus Klingenberg hat auf der Hannover-Messe die nach eigenen Angaben weltweit kleinsten 6-achsigen Kraft-Drehmoment-Sensoren für den industriellen Markt vorgestellt. Die Sensoren haben einen Durchmesser von 8,4mm. Resense ist ein Joint Venture der Wika Alexander Wiegand SE & Co. KG und der Wittenstein SE. Die Miniaturbauweise und das Hohlwellendesign zur Kabel- und Leiterdurchführung machen die Haptiksensoren besonders integrationsfreundlich, heißt es weiter. Ihre hohe Abtastrate und Auflösung verleihen robotischen Systemen in der Medizintechnik und Chirurgie sowie in der Montage- und Handhabungstechnik einen feinfühligsten Tastsinn: Bereits eine Massenänderung von 1g, beispielsweise bei der Manipulation empfindlicher Bauteile, sei zuverlässig detektierbar. Mit einer Abtastrate von 1 kHz und einer Auflösung von 10 Bit messen die 6-achsigen Kraft-Drehmoment-Aufnehmer der Produktfamilie HEX mit Hilfe integrierter Dehnungsmessstreifen Massenveränderungen in den drei translatorischen und rotatorischen Raumrichtungen. Die dabei entstehenden analogen Spannungssignale werden in einer kompakten, externen Elektronik in Kräfte und Drehmomente umgerechnet. Die Sensordaten können laut Wittenstein in Echtzeit visualisiert, aufgezeichnet und als Messwerte in eine Steuerung oder eine Anwendung exportiert werden. Leitkunden aus der universitären Forschung sowie der Industrie, etwa der chirurgischen Robotik,

würden die Miniaturbauform, das Hohlwellendesign, die Messgenauigkeit loben – Merkmale, die eine hohe Anpassungsfähigkeit an die Applikation sowie eine optimale Integration gewährleisten. Produkttechnisch basiert das Joint Venture auf den in einem Wittenstein-Startup entwickelten miniaturisierten Hohlwellen-Mehrachsensensoren für die Hochpräzisionsmessung von Kräften und Drehmomenten in beengten Räumen. Wika bringt als führender Hersteller von Druck- und Temperaturmesstechnik seine High-Tech-Fertigungskompetenz bei Sensorik- und Chipkomponenten in das Gemeinschaftsunternehmen ein. Die Serienreifmachung und Zertifizierung der Sensortechnologie wurde 2023 gestartet und zielt auf die zeitnahe Produktion hoher Stückzahlen für den industriellen Markt ab. www.wittenstein.de



Die Miniaturbauweise und das Hohlwellendesign machen die Kraft-Drehmomentensensoren von Resense für Kunden einzigartig.



Im Vorhaben „LensInspect“ entwickelt die TH Köln gemeinsam mit Projektpartnern ein neues auf KI basierendes Prüfsystem für technische Gläser. Foto: Casia/TH Köln

INTELLIGENTES PRÜFSYSTEM FÜR TECHNISCHE GLÄSER

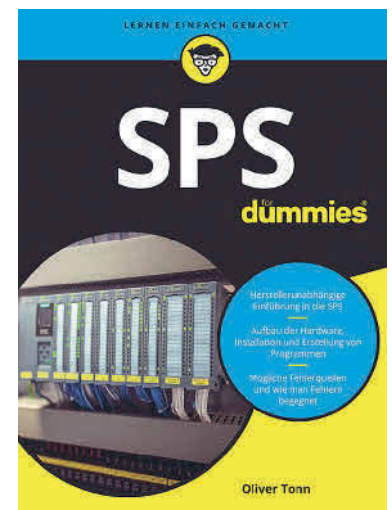
Technisches Glas wird aufgrund seiner Eigenschaften in zahlreichen Branchen genutzt. Um die Produktqualität zu erhöhen, den Energie- und Ressourcenverbrauch zu minimieren und Wartungskosten zu reduzieren, hat die TH Köln gemeinsam mit Projektpartnern im Vorhaben „LensInspect“ ein neues auf KI basierendes Prüfsystem entwickelt. „In der Automobilindustrie setzen Fahrerassistenzsysteme auf eine Vielzahl von Kameras und optischen Sensoren, um den Fahrkomfort und die Sicherheit im Straßenverkehr zu erhöhen. Dabei kommen verschiedene Optiken zum Einsatz, die nicht zuletzt wegen der vorgeschriebenen Sicherheitsaspekte umfangreichen Tests unterzogen werden und eine hohe Präzision in der geometrischen Form vorweisen müssen“, sagt Prof. Dr. Mohieddine Jelali vom Cologne Lab for Artificial Intelligence and Smart Automation der TH Köln. Um die Form der Linsen zu überprüfen, kommen bislang vor allem vollständig manuelle oder sogenannte Offline-Systeme zum Einsatz. Dabei handelt es sich um stichprobenartige Prüfvorgänge, die vom Produktionsprozess entkoppelt sind. Zudem sind viele der bisher eingesetzten Prüfgeräte nur für bestimmte Linsentypen verwendbar und können nicht alle relevanten geometrischen Merkmale messen. Das Projektteam arbeitet daher an einem Prototyp für ein neuartiges Inspektionssystem. Das neue Verfahren soll neben Offline- auch Inline-/Online-Messungen entlang der Fertigungslinie erlauben. Dabei wird das Prüfgerät an einer bestimmten Stelle am Förderband oder an der Anlage angebracht, um die Produktqualität kontinuierlich zu überwachen. Um das zu ermöglichen, wird das Projektteam im Laufe des Vorhabens ein sogenanntes Machine Vision-System entwickeln. „In diesem wird das Glasprodukt kontinuierlich mit einer bestimmten Geschwindigkeit für eine bestimmte Zeit gedreht. Dabei wird es beleuchtet und von einer Kamera erfasst. Aus den aufgenommenen Bildern wird in einem weiteren Schritt ein 3D-Modell erstellt“, erklärt Jelali. Dieses wird anschließend an eine Bildverarbeitungseinheit gesendet, die das Bild analysiert, die erforderlichen Informationen wie die geometrischen Merkmale extrahiert, die Prüfung durchführt und eine Entscheidung trifft, ob das Produkt von den zuvor definierten Kriterien abweicht, also fehlerhaft ist. Die Entscheidung wird schließlich protokolliert und kann an Maschinenelemente weitergegeben werden, die den Fertigungsprozess im Falle einer festgestellten Abweichung automatisch anpassen, damit es nicht mehr zu Fehlern kommt. „Mit Hilfe des intelligenten Prüfsystems, das wir gemeinsam mit unseren Projektpartnern entwickeln wollen, soll die Anzahl der fehlerhaften Glasprodukte erheblich reduziert werden. Zudem kann damit die geometrische Präzision von Linsen erhöht und der unnötige Verbrauch von Ressourcen und Energie für das Recycling fehlerhafter oder minderwertiger Produkte minimiert werden“, sagt Jelali. Das fertige System soll aber nicht nur für die Überwachung des Herstellungsprozesses von Linsen für die Automobilindustrie eingesetzt werden können, so Jelali: „Unser Ziel ist es, dass das Machine Vision-System und die intelligente Bildverarbeitungseinheit nach Abschluss des Vorhabens auch in anderen Branchen wie der medizinischen oder chemischen Industrie nutzbar sind, um transparente und präzise Glaserzeugnisse zu prüfen.“ www.th-koeln.de

SPS für dummies

Das Buch richtet sich an Leserinnen und Leser, die Maschinen oder Anlagen mithilfe von einer SPS steuern möchten, ohne Vorkenntnisse zu haben. Ob Aufbau der Hardware, Installation und Verdrahtung oder die Erstellung von Programmen: Verständlich werden die Grundlagen und fortgeschrittene Techniken der SPS-Programmierung erläutert. Dabei lernen Leserinnen und Leser die SPS sowohl herstellerunabhängig intensiv kennen als auch die Besonderheiten der verschiedenen Hersteller. An zahlreichen Praxisbeispielen können sie ihr Wissen vertiefen und es in immer komplexeren Szenarien erfolgreich anwenden.

Die 21 Kapitel sind in sechs Hauptabschnitte unterteilt: Software, Steuerungen, Antriebstechnik, funktionale Sicherheit, Tücken des Alltags und der obligatorische Top-Ten-Teil der Dummie-Reihe. Der Schwerpunkt liegt auf den beiden ersten Abschnitten, die deutlich mehr als die Hälfte des gesamten Umfangs ausmachen. Die Erläuterungen sind sehr grundlegend, der Autor holt auch die Leserinnen und Leser ab, die noch überhaupt kein Vorwissen mitbringen.

Tonn unterstützt Industrieunternehmen als SPS-Entwickler bei der Programmierung und Inbetriebnahme von Steuerungsanlagen. Darüber hinaus führt er regelmäßig Schulungen durch. *Oliver Tonn: SPS für dummies. Wiley-VCH 2023. 464 Seiten, ISBN: 978-3-527-71819-1, 27,00 Euro*



SPS für dummies – 464 Seiten – 27,00 Euro. Foto: Wiley-VCH

Rumpfsegment erstmalig in Originalgröße aus CFK-Werkstoffen hergestellt

Staubfreies Fügen eines Thermoplast-Flugzeugrumpfes

Im Rahmen des von der EU geförderten Clean Sky 2-/Clean Aviation-Projekts „Large Passenger Aircraft“ („LPA“) hat die Fraunhofer-Gesellschaft in Stade mit internationalen Projektpartnern jeweils eine maßstabgetreue Ober- und Unterschale des „Multi Functional Fuselage Demonstrator“ („MFFD“) durch automatisierte Positionier- und Fügeprozesse miteinander verbunden. Das Verschweißen der zwei Längsnähte der beiden 8 m langen CFK-Halbschalen, die einen Durchmesser von etwa 4 m aufweisen, schloss die Herstellung des größten thermoplastischen CFK-Flugzeugrumpfsegments der Welt erfolgreich ab.

Sowohl für die Produktion als auch den Betrieb von Passagierflugzeugen werden dringend klimafreundliche Lösungen benötigt, die zu einer noch weitergehenden Einsparung von Ressourcen beitragen. Neben neuen Antriebstechniken stehen dabei auch Strukturgewicht und Herstellungsaufwand im Fokus. Beides kann durch neue Bauweisen verringert werden. Erstmals wurde deshalb in einem Forschungsprojekt ein Rumpfsegment in Originalgröße aus thermoplastischen CFK-Werkstoffen hergestellt, um Machbarkeit sowie ökologische und ökonomische Vor- und Nachteile fundiert bewerten zu können.

Fügeverfahren mit Laser und Ultraschall

Als Fügeverfahren zum Schließen des Thermoplast-Flugzeugrumpfs wurden zusammen mit dem Projekt-Koordinator Airbus das CO₂-Laserschweißen für die linke Längsnaht sowie das Ultraschallschweißen für die rechte Längsnaht ausgewählt. Beide Verfahren bieten den Vorteil des staubfreien Fügens, den die zurzeit verwendeten Nietverfahren nicht besitzen. Allerdings wurden sie bisher weder in der Produktion noch in der Forschung bei so großen CFK-Bauteilen und mit den dabei benötigten speziellen Qualitätsanforderungen angewendet. Der Bedarf für ein staubfreies Fügen ergibt sich



Das durch Thermoplastschweißen fertig gefügte „MFFD“-Flugzeug-Rumpfsegment bei der Fraunhofer-Gesellschaft in Stade. Foto: Fraunhofer IFAM

aus der erstmalig durchgeführten Vorintegration beider Schalen mit einer Vielzahl von ebenfalls schweißtechnisch montierten Struktur- und Systemkomponenten, die ein nachträgliches Entfernen von Staub und Spänen nicht zulässt. Beigestellt wurde die im Autoklav unter Druck und Temperatur verfestigte (konsolidierte) Thermoplast-Unterschale aus dem „LPA“-Projekt „Stunning“ von einem Konsortium aus GKN Fokker, Diehl Aviation, Netherlands Aerospace Centre –

NLR und TU Delft. Die thermoplastische, mittels Tape-Legeverfahren (in-situ-Konsolidierung) hergestellte Oberschale stammt von einem Konsortium aus Premium Aerotec, Airbus, Aernnova und DLR ZLP.

Beide Schalen beeindrucken insbesondere aufgrund des hohen Grads der Vorintegration, der weitgehend nietlosen Bauweise und der dadurch erzielten Gewichtsreduktion von 10% im Vergleich zum Status quo. Dabei eröffnet einerseits

die automatisierte Vorintegration eine hohe Effizienzsteigerung und örtliche Flexibilität mit Blick auf eine Hochratenproduktion bei gleichzeitiger Kostenersparnis von bis zu 10 %, weil nicht mehr wie bisher alle Bauteile in den geschlossenen Rumpf gebracht und dort unter beengten Verhältnissen manuell montiert werden müssen. Andererseits führt die Gewichtsreduktion der Flugzeugstruktur zu einer verbesserten Treibstoffeffizienz im Betrieb.

Automatisierte Montage-Forschungsplattform

Zusammen mit dem Partner FFT Produktionssysteme hat die Fraunhofer-Gesellschaft am Forschungszentrum CFK Nord in Stade in dem „LPA“-Projekt „MultiFAL“ die automatisierte Montage-Forschungsplattform für den „MFFD“ inklusive der zentralen Anlagen- und Prozesssteuerung entworfen und errichtet. Andere Projektpartner haben danach ihre Technologiebausteine in die Plattform integriert. Zu den weiteren Aufgaben von Fraunhofer entlang der Prozesskette gehörte zunächst das Einrüsten der Unterschale mittels einer eigens entwickelten Aufnahme, welche es erlaubte, die Unterschale für die Folgeprozesse hochgenau im Montageraum auszurichten. Danach erfolgte das Einbringen der Oberschale mit dem Hallenkran. Alle weiteren Prozessschritte liefen vollständig automatisiert ab. Das submillimetergenaue Positionieren der beiden Schalen zueinander übernahm ein Feld von zehn Hexapod-Robotern, die mithilfe von Laser-Sensoren jederzeit die optimale Form und Lage der Schalen einstellten und bei Bedarf nachjustierten.

Für den Laserschweißprozess waren dünne, bis zu 4,5 m lange Streifen (Butt-Straps) aus thermoplastischem CFK lagenweise und bündig neben- als auch übereinander abzulegen auf die exakt aufeinanderstoßenden, zur Flugzeugaußenseite hin mit einer Stufenschäftung versehenen Längsränder der Schalen. Alle Lösungen zum Zuführen, Positionieren und Kantenversiegeln der Straps erarbeitete die Fraunhofer-Gesellschaft im „LPA“-Projekt „Busti“. Im Ergebnis wurden die von Fraunhofer gefertigten Straps mit einem in die automatisierte Prozessumgebung integrierten Strap-Handling-Werkzeug durch eine Abroll-

bewegung exakt auf der Naht positioniert, sodass der über Spiegel gelenkte, oszillierende Laserstrahl des unmittelbar folgenden Schweißkopfs kontinuierlich die sich ausbildenden Kontaktlinien von Strap zur Schalenoberfläche aufschmelzen konnte. Eine Druckeinheit am Laserschweiß-Endeffektor presste dabei den Strap mit Fügekräften bis zu einer Tonne gegen die oberen und unteren Schalenfügestellen und konsolidierte so die Schweißnaht im selben Arbeitsgang. Damit die hohen Andruckkräfte beim Schweißen nicht zu einer Beschädigung der Rumpfstruktur führten, lief innerhalb der entstehenden Rumpfsktion synchron eine Vorrichtung zur Kraftaufnahme und -ableitung mit.

Der Laserschweißprozess zeichnet sich durch die Implementierung eines Online-Monitor- und Kontroll-Systems aus, welches einen unmittelbaren digitalen Datenaustausch für die Prozessoptimierung und Qualitätssicherung mit einem Digitalen Zwilling ermöglicht.

Automatisiertes Füllen unvermeidbarer Spalte

Weil die Straps und die stufenförmig gestalteten Fügezonen der Schalen aufgrund unvermeidlicher Herstellungstoleranzen und für die Positionierprozesse benötigter Freiheitsgrade nicht lückenlos aneinander anschließen konnten, blieben zwischen ihnen kleine, unregelmäßig breite Spalte („Gaps“). Diese würden die Qualität der Schweißverbindungen beeinträchtigen und waren deshalb nach dem Schweißprozess vollständig mit einem sogenannten Thermoplastfüller zu schließen, wobei ein Materialüberschuss unbedingt zu vermeiden war.

Ein kompakter Extruder, der – wie der Laserschweiß-Endeffektor – entlang der zuvor erzeugten Verbindungsnaht geführt wurde, erwärmte das Ausgangsgranulat und förderte es über eine Schnecke zum Spalt. Dort sorgte eine spezielle Düse dafür, dass das Material den Spalt füllte, bevor es an der Luft aushärtete. Das für die genaue Füllmenge ausschlaggebende lokale Spaltvolumen wurde unmittelbar vorher von einem in denselben Gap-Filling-Endeffektor integrierten, auf den offenen Spalt gerichteten 2D-Sensor gemessen und an das Extrudersystem übertragen. Damit ließ sich die lokal benötigte Austragleistung während des laufenden Prozesses dynamisch

berechnen, sodass unregelmäßige Spalte von 3 bis 20 mm Breite an jeder Stelle mit der exakt erforderlichen geschmolzenen Thermoplastmaterial-Menge gefüllt wurden.

Erkenntnisse für den Produktionsprozess

Um aus den Forschungsarbeiten möglichst viele für einen späteren Produktionseinsatz wichtige Erkenntnisse zu gewinnen, wurde als Fügemethode für die rechte Längsnaht das automatisierte Ultraschallschweißen ausgewählt. Im Vergleich zum Laserschweißen können damit nur die dünnwandigeren Rumpfnahabschnitte außerhalb der Türumgebungen verbunden werden, allerdings ist der Aufwand hinsichtlich Synchronisation parallellaufender Prozesse, Investitionen und Arbeitssicherheit geringer. Aus der Zusammenarbeit der für die Forschungsplattform zuständigen Fraunhofer-Gesellschaft mit dem „LPA“-Projekt „Welder“ der Partner CT Engineering Group, Aimen, AITIIP und Dukane ist ein schneller und verlässlicher, automatisierter Ultraschallschweißprozess für die Längsnaht hervorgegangen. Wie auch der vorgestellte Laserschweißprozess zeichnet er sich durch die Implementierung eines Online-Monitor- und Kontroll-Systems aus, welches einen unmittelbaren digitalen Datenaustausch für die Prozessoptimierung und Qualitätssicherung mit einem Digitalen Zwilling ermöglicht.

Die Arbeiten und Nachweise zum CO₂-Laserschweißen der Straps inklusive des Spaltfüllens sowie das darauf folgende Koppeln der Spante zwischen Ober- und Unterschale durch Widerstandsschweißen bildeten den Abschluss der Forschungsarbeiten am „MFFD“ im Stader Forschungszentrum. Beim Clean Sky 2- Abschlusstreffen konnte den unabhängigen Gutachtern, dem Joint Undertaking und allen am Demonstrator mitwirkenden Partnern der erfolgreiche und rechtzeitige Abschluss der drei Projekte vorgestellt werden.

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM
28359 Bremen
Tel. (04 21) 22 46 – 0
www.ifam.fraunhofer.de

Walter Reiners-Stiftungspreis für zwei ITA-Preisträger

Wie kann man durch Transferlernen Fertigungsschritte optimieren? Wie kann man die Umweltauswirkungen von Geotextilien aus petrochemischen Kunststoffen mit denen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen vergleichen, um eine Entscheidungshilfe für nachhaltigere Produkte zu finden? Für die Entwicklung dieser Methoden wurden Lennart Hellwig und Fabio Bußmann vom Institut für Textiltechnik (ITA) der RWTH Aachen mit Preisen des Deutschen Textilmaschinenbaues 2024 der Walter Reiners-Stiftung ausgezeichnet.

Lennart Hellwig erhielt den „Förderpreis Masterarbeit“ für seine Masterarbeit „Transfer Learning Modell für Vernadelungsprozesse in der Vliesstoffproduktion unter Berücksichtigung von Unsicherheiten“.

Die Auszeichnung wurde für die Entwicklung einer Methodik verliehen, die es ermöglicht, durch Transferlernen einen Fertigungsprozess in der Vliesstoffproduktion zu modellieren. Dieses Modell kann genutzt werden, um die Fertigungsschritte zu optimieren.

Durch den Einsatz von Transferlernen wurde die Menge der benötigten Daten für die Modelle reduziert und die Vorhersagegenauigkeit verbessert. Konkret wurde in der Arbeit der Vernadelungsprozess als Fertigungsschritt ausgewählt. Das Verfahren lässt sich grundsätzlich auch auf andere Fertigungsschritte übertragen.

Fabio Bußmann wurde mit dem „Nachhaltigkeitspreis Masterarbeit“ für seine



Peter D. Dornier, Vorsitzende der Walter Reiners-Stiftung des VDMA Fachverbands Textilmaschinen, überreichte die Preise während der Fachmesse Techtexsil in Frankfurt am Main (v.li.: Prof. Dr. Thomas Gries, Lennart Hellwig, Peter D. Dornier und Fabio Bußmann). Foto: ITA

Masterarbeit „Methodenentwicklung und Durchführung von Life Cycle Assessments zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Produktion und End-of-Life-Szenarien biologisch abbaubarer Geotextilien“ ausgezeichnet. Kunststoffe bieten aufgrund ihrer vielfältigen Eigenschaften und Formgebungsmöglichkeiten ein breites Anwendungsspektrum. Ein Beispiel sind Geotextilien. Zu ihrer Herstellung werden fast ausschließlich petrochemische Kunststoffe verwendet, die in erster Linie nach ihrer Funktionalität ausgewählt werden, ohne dass an eine nachhaltige Entsorgung nach der Nutzungsdauer gedacht wird. Oft verbleiben diese

Textilien im Boden, weil sie nur sehr schwer und mit hohen Kosten oder gar nicht zu entfernen sind. Eine nachhaltigere Alternative könnte der Einsatz von Geotextilien aus biologisch abbaubaren Kunststoffen sein.

Ziel dieser Arbeit war es, die Umweltauswirkungen von Geotextilien aus petrochemischen Kunststoffen mit denen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen zu vergleichen. Diese Untersuchung wird in drei verschiedenen Anwendungsbereichen durchgeführt, um als ökologische Entscheidungshilfe zu dienen und das nachhaltigere Produkt zu identifizieren.

www.ita.rwth-aachen.de

Echtzeitkorrektur bei der SPS-Programmierung in Codesys

Das Fraunhofer IEM hat in Zusammenarbeit mit Codesys Development Methoden der statischen Codeanalyse in die für SPS gängige Entwicklungsumgebung Codesys integriert. Dies hebt das sichere Programmieren von SPS auf ein neues Level, heißt es. Softwareentwickler:innen erhalten in Echtzeit Hinweise auf Fehler in ihrem Code, die sie bereits im Entwicklungsprozess korrigieren können. Die Lösung ist seit April 2024 im Release 5.0.0.0 der Codesys Static Analysis eingebunden.

Ähnlich einer Rechtschreibprüfung zeige die statische Codeanalyse frühestmöglich Fehler und Gefahren im Programmcode an. Außerdem mache sie unbeabsichtigte Datenflüsse oder die falsche Verwendung von Programmierschnittstellen sichtbar. Code könne bereits während der Programmierung geprüft und ausgebaut werden, ohne kompiliert und ausgeführt zu werden. Für die Echtzeit-Korrektur setzte das IEM auf distributive Analyseframeworks mit geringem Speicherverbrauch. Die Analysen bieten viele Konfigurationsmöglichkeiten und sind sowohl auf die Codesys-Programmierschnittstelle als auch auf eingebundene Drittbibliotheken anwendbar.

In der Automatisierungsbranche gehören SPS zur Grundausstattung. Aufgrund der zunehmenden Vernetzung von Maschinen und Anlagen stehen SPS-Programmierer:innen allerdings vor Herausforderungen: Die Gefahr für sicherheitskritische Entwicklungsfehler steigt. Richtlinien versuchen an dieser Stelle, Orientierung zu geben, doch ihre Anwendung ist aufwendig und erfordert den Aufbau besonderer Expertise. So ist das Schreiben von SPS-Programmcode zu einer komplexen Aufgabe geworden. Die Codeanalyse schafft Abhilfe: Sie zeigt Fehler beim Schreiben des Programmcodes auf, damit diese frühestmöglich behoben werden können. www.iem.fraunhofer.de

Jetzt Konstruktion upgraden: Mit dem E-Paper- Abonnement

Für nur
75,60 EUR
inkl. MwSt.



Sie wollen jederzeit und überall Zugriff auf Konstruktion, Deutschlands älteste Konstruktionszeitschrift und Organ der VDI-Gesellschaften Produkt- und Prozessgestaltung und Materials Engineering? Dann sichern Sie sich jetzt zusätzlich zu den 9 Konstruktion-Printausgaben pro Jahr auch Ihr Abo-Upgrade E-Paper: 75,60 EUR inkl. MwSt.

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



Technikwissen für Ingenieur*innen - jetzt bestellen:

ingenieur.de/abo-konstruktion

AIQ

DRIVE ON POINT

Mehr zum Thema AIQ:

