

Konstruktion

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

**Sonderteil
Automatisierung**



TITELTHEMA: HOCHLEISTUNGSKUNSTSTOFFE

ONLINE-CNC-SERVICE

Automatisierte und vereinfachte Auftragsabwicklung

FAST STEERING MIRRORS

Mikromechanische Systeme für die optische Kommunikation mit Lasern

KLEBEN

Zinnfreier Dichtstoff für schwere Maschinen und Fahrzeuge

Jetzt auf E-Paper-Teamlizenz umstellen und profitieren

**50%
Rabatt***

Ihre Vorteile:

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

Ihre Zugänge:

- Bis 10 Nutzer*innen = personenbezogene Zugangscode
- Ab 10 Nutzer*innen = IP-Range

Jetzt E-Paper-Lizenz Konstruktion bestellen!

Anzahl Nutzer*innen	Preise in EUR
1	525,00
2–5	1.050,00
6–10	1.575,00
11–50	2.100,00
> 50	2.625,00

Alle Preise brutto.



Technikwissen für Ingenieur*innen

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



Sensorik wird zum Systembaustein

Die industrielle Sensorik steht an einem Wendepunkt. Lange Zeit wurde sie vor allem als verlässlicher Lieferant von Messwerten verstanden. Heute entwickelt sie sich zunehmend zu einem intelligenten, vernetzten Systembaustein, der weit mehr leistet als reine Datenerfassung. Genau diesen Wandel beschreibt die Studie „Sensor Trends 2030“ des AMA Verbands für Sensorik und Messtechnik, die 2025 veröffentlicht wurde. Auf 180 Seiten analysieren 69 Expertinnen und Experten aus Forschung und Industrie zentrale Entwicklungen und Herausforderungen der Sensorik bis 2030.

Für die industrielle Praxis ist dieser Wandel von großer Bedeutung. Sensorik entscheidet heute immer stärker darüber, wie präzise Prozesse gesteuert, wie früh Abweichungen erkannt und wie effizient Anlagen betrieben werden. Wer Qualität sichern, Stillstände vermeiden und Ressourcen besser nutzen will, braucht nicht nur einzelne leistungsfähige Sensoren, sondern robuste, vernetzte Systeme mit intelligenter Auswertung. Damit verschiebt sich der Fokus von der isolierten Messung hin zur Systemarchitektur. Sensoren werden zu aktiven Enablern moderner Produktion und nicht mehr nur zu unsichtbaren Datenquellen.

Die Studie macht deutlich, dass sich diese Entwicklung in mehreren Dimensionen vollzieht. Einerseits steigen die Anforderungen an Messgenauigkeit, Miniarisierung und Integrationsfähigkeit. Andererseits gewinnen Sensorsysteme, Datenverarbeitung und die Einbindung in digitale Industrieumgebungen an Gewicht. Gerade in vernetzten Produktionsumgebungen entstehen neue Anforderungen an Robustheit, Schnittstellenfähigkeit und Skalierbarkeit. Sensorik muss deshalb immer häufiger nicht nur präzise messen, sondern auch Daten so bereitstellen, dass daraus unmittelbar nutzbare Informationen für Steuerung, Wartung und Qualitätssicherung entstehen.

Hinzu kommt die zunehmende Bedeutung modularer Mikroelektronik. Seit der Veröffentlichung der Studie lässt sich beobachten, dass Chiplets und verwandte modulare Ansätze weiter an Relevanz gewinnen. Für die Sensorik ist das besonders wichtig, weil damit neue Freiheitsgrade bei Funktion, Integration und Skalierbarkeit entstehen. Gleichzeitig steigt die Bedeutung der Aufbau- und Verbindungstechnik. Denn erst das Zusammenspiel von Chip, Packaging, thermischem Management und zuverlässigen Verbindungen entscheidet darüber, ob eine technische Lösung auch unter industriellen Bedingungen funktioniert. Die sensorische Innovation endet damit nicht am Messprinzip, sondern setzt sich in der Systemintegration fort.

„Sensorik ist längst mehr als nur die reine Messung, sie wird zur Basis der industriellen Intelligenz.“

Ein weiterer Themenschwerpunkt ist die Künstliche Intelligenz. Ihre Stärken liegen in der Mustererkennung, der Anomalie-Erkennung und der Auswertung komplexer Datenströme. In der industriellen Sensorik kann KI Prozesse sichtbar machen, die für den Menschen schwer erfassbar wären, und damit zur besseren Nutzung von Anlagen und Ressourcen beitragen. Gleichzeitig zeigt sich aber auch die Grenze dieser Entwicklung: KI ersetzt weder die Messphysik noch die saubere Kalibrierung oder die fachliche Interpretation. Belastbare Ergebnisse setzen weiterhin eine solide sensorische Grundlage voraus. Anders gesagt: KI kann

Sensorik aufwerten, aber nicht die physikalische Basis ihrer Aussagekraft ersetzen.

Die AMA-Studie verweist auch auf den zunehmenden internationalen Wettbewerb. Während Europa technisch stark bleibt, wächst die Dynamik und Investitionskraft in anderen Weltregionen. Für Unternehmen in Deutschland und Europa bedeutet das, Innovationsfähigkeit breiter zu denken. Entscheidend sind nicht nur neue Sensorprinzipien, sondern auch Fertigungskompetenz, Materialwissen, Packaging, Datenkompetenz und die Fähigkeit, daraus wirtschaftlich tragfähige Anwendungen zu entwickeln. Wer in diesem Umfeld bestehen will, sollte Technik, Produktion und Anwendung stärker zusammenführen.

Für den Maschinen- und Anlagenbau ergibt sich gerade daraus ein klarer strategischer Impuls. Sensorik wird zum Differenzierungsmerkmal moderner Produkte und Produktionssysteme. Sie schafft die Grundlage für Transparenz, höhere Produktivität, bessere Qualität und vorausschauende Entscheidungen. In einer Industrie, die immer stärker von Daten, Vernetzung und Automatisierung geprägt ist, reicht es nicht mehr aus, Sensoren nur als Komponenten zu betrachten. Sie müssen als Teil einer Gesamtarchitektur verstanden werden, die Prozesse stabilisiert, Wissen generiert und Wertschöpfung ermöglicht. Wer Sensorik heute strategisch denkt, investiert damit nicht nur in Messtechnik, sondern in die Wettbewerbsfähigkeit von morgen. ■



Prof. Dr.
Klaus Stefan Drese
Hochschule Coburg, Leitung des Instituts für Sensor- und Aktortechnik (ISAT) / Vorsitzender des AMA Wissenschaftsrates
klaus.drese@hs-coburg.de
Foto: Hochschule Coburg



20

Mit **Fast Steering Mirrors** kann Licht, speziell Laserstrahlen, schnell und präzise umgelenkt werden. Bild: Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG



59

Im Programm **DaMic** erforschen Wissenschaftler*innen neue metallische Werkstoffe und deren Herstellungsprozesse. Foto: Smarterpix / aFotostock

Editorial

- 3** KLAUS STEFAN DRESE Sensorik wird zum Systembaustein

Aktuelles

- 6** Flex und Teradyne Robotics erweitern Partnerschaft
- 6** KI stärkt die Industrie und ihre Wertschöpfung
- 7** Dassault Systèmes und Neura Robotics wollen virtuelle Welt und reale Robotik verbinden
- 7** Erfolgreiches Jahr für die ifm-Gruppe
- 8** Personalien
- 9** Humanoide Robotik: Schunk und DLR kooperieren
- 9** Liebherr: stabile Entwicklung im Jahr 2025
- 10** VDI-GPP Nachrichten aus der VDI-Fachgesellschaft

Titelthema

- 12** KUNSTSTOFFE Schnell und einfach zum individuellen CNC-Bauteil

Maschinenelemente

- 15** GETRIEBE Höhere Genauigkeit beim Kalibrieren

- 18** ENERGIEKETTEN Additive Fertigung beschleunigt Entwicklungsprozesse

Automatisierung

- 20** FAST STEERING MIRRORS Höchste Präzision für Satellitenkommunikation und High-End-Optik-Systeme
- 24** DRUCKSENSORIK Einlegesohle zur kontinuierlichen Gangüberwachung
- 26** INTEGRIERTES SYSTEM Sensorische Funktionalisierung von Materialien
- 28** SENSOR + TEST 2026 AMA Innovationspreis 2026 - die Nominierten:
- 29** Multimeter für Laser
- 30** Messen in der Fertigung
- 31** Kunststoffprozesse überwachen

Verbindungstechnik

- 34** AUTOMATISIERTE FERTIGUNG DIN 72036 schafft klare Designrichtlinien

Produktentwicklung

- 37** SCHNELLWECHSELSYSTEME Automatisierung des Greifer- und Werkzeugwechsels

Fachbericht

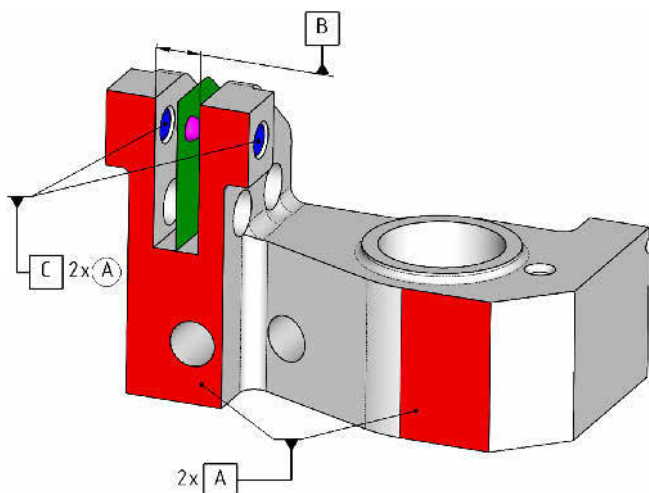
- 40** ANSCHLAGMITTEL Sicheres Heben von Maschinen und Anlagen beginnt in der Konstruktion

Fachteil Ingenieur-Werkstoffe

- 52** EDELSTAHL Werkstoffe für Sicherheit und Effizienz im Flugzeugbau
- 56** STAHL Integrierte Stahlkompetenz für moderne Verteidigungssysteme
- 59** METALLFORSCHUNG Neue klimafreundliche Werkstoffe
- 60** MATERIALDATEN Materialwissen über Unternehmensgrenzen hinweg nutzen
- 62** KLEBTECHNOLOGIE Trennbare Klebeverbindung für schlanke Displays
- 64** DICHTSTOFF Zinnfreier Klebstoff für schwere Maschinen und Fahrzeuge
- 65** KLEBEN Befestigungslösung für den Leichtbau

WiGeP

- 43** WERTSCHÖPFUNG Entwicklung smarter Produkt-Service-Systeme im industriellen Mittelstand



45

Allgemeintoleranzen: Der Beitrag erläutert Aspekte der als Normentwurf erarbeiteten Neufassung von DIN 2769. Bild: Autoren

44 RINGVORLESUNG Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung

Forschung, Wissenschaft, Innovation

45 ALLGEMEINTOLERANZEN

W. Steger, K. Paetzold-Byhain, C. Lipp, P. Robl, T. Engelke, B. Wegner:

Neuer Entwurf DIN 2769: Konzepte und Werte für Allgemeintoleranzen *

(DOI 10.37544/0720-5953-2026-05-45)

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

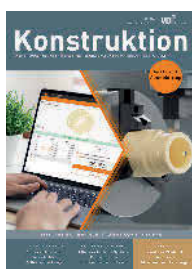
67 Forschung und Technik aktuell

Rubriken

8 Impressum

23 Vorschau

14, 32, 39 Neue Produkte und Verfahren



Hochleistungskunststoffe

Benötigen Konstrukteure oder der technische Einkauf kurzfristig individuelle Dreh- oder Frästeile, kann die Abstimmung per Telefon und E-Mail zeitaufwendig sein und zu Verzögerungen im Projekt führen. Aus diesem Grund bietet ein Kunststoffspezialist einen Online-CNC-Service an, der die Auftragsabwicklung automatisiert und deutlich vereinfacht – inklusive Live-Übersicht mit Sofortpreisen, für die es keine Anmeldung braucht. Die CNC-Bauteile aus Hochleistungskunststoff sind in wenigen Tagen versandfertig. Titelbild: igus



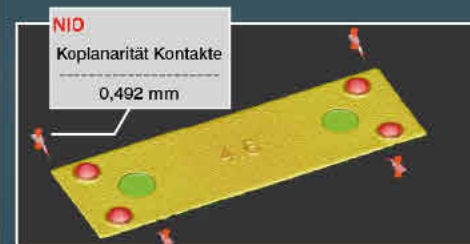
z-precision
bis zu 0,25 μm

NEU

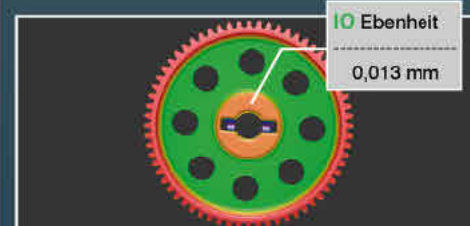
surface**CONTROL** 3D 3500

Die neue Generation der hochpräzisen Inline 3D-Messung

- Automatisierte Inline-3D-Messung zur Geometrie-, Form- & Oberflächenprüfung
- Messfelder bis 180 x 245 mm
- Bis zu 2,2 Mio. 3D-Punkte / Sekunde
- Einfache Integration in alle gängigen 3D-Bildverarbeitungspakete
- Leistungsstarke 3D-Software



Koplanaritätsmessung



Ebenheitsmessung

Kontaktieren Sie unsere
Applikationsingenieure:
Tel. +49 8542 1680

micro-epsilon.de/3D

Flex und Teradyne Robotics erweitern Partnerschaft

Flex und Teradyne Robotics bauen ihre Zusammenarbeit aus, um die intelligente Automatisierung in der globalen Fertigungsindustrie voranzutreiben. Wie Teradyne mitteilt, übernimmt Flex dabei eine doppelte Rolle: Das Unternehmen setzt Lösungen von Teradyne Robotics in seinen eigenen Produktionsstätten ein und fertigt gleichzeitig wichtige Robotikkomponenten, die skalierbare Automatisierungslösungen für die Kunden von Teradyne Robotics weltweit ermöglichen.

Die Marken Universal Robots (UR) und Mobile Industrial Robots (MiR) von Teradyne Robotics spielen eine zentrale Rolle in dieser Partnerschaft, heißt es weiter. Flex fertige Schlüsselkomponenten für UR und nutze dabei Cobots von UR sowie autonome mobile Roboter von MiR in seinen Produktionsumgebungen.

Die Kombination aus Fertigung und praktischem Einsatz liefere kontinuierliches operatives Feedback, validiere Roboter-techniken im großen Maßstab und realisiere eine schnellere Replikation erfolgreicher Automatisierungsabläufe.

www.teradyne.com/robotics/



Hartmut Rauen, VDMA:
„Wer die Prozesse versteht, wird auch die KI erfolgreich einsetzen.“
Bild: VDMA

KI STÄRKT DIE INDUSTRIE UND IHRE WERTSCHÖPFUNG

Künstliche Intelligenz (KI) kann zu einem zentralen Hebel für Produktivität, neue Geschäftsmodelle und technische Souveränität im Maschinen- und Anlagenbau werden. Ausgehend von industriellem Domänenwissen, interoperablen Datenökosystemen und Anwendungen auf dem Shop Floor bietet sich der Industrie die Chance auf eine effizientere und neue industrielle Wertschöpfung – so untermauert es das neue Positionspapier des VDMA zu Industrial AI.

Entscheidend sei nun, die richtigen Rahmenbedingungen zu setzen. Dazu zählen den Angaben zufolge ein skalierungsfähiger digitaler Binnenmarkt, ein stärker integrierter europäischer Kapitalmarkt und eine klare politische Priorisierung von industriegetriebenen Innovationsökosystemen. Der VDMA setzt sich daher ein für eine innovationsfreundliche Umsetzung des EU AI Act sowie für eine abgestimmte nationale und europäische Robotikstrategie, denn die humanoide Robotik werde zur Schlüsseltechnik.

„Deutschland und Europa verfügen über eine außergewöhnlich starke industrielle Basis“, sagt Hartmut Rauen, stellvertretender Hauptgeschäftsführer des VDMA.

Rauen weiter: „Unsere Maschinenbauindustrie ist technologisch führend – von Automatisierungstechnik über Sensorik und Bildverarbeitung bis hin zu Production Excellence. Zudem verfügen wir über hunderte leistungsfähige Softwareunternehmen in unserem Ökosystem. Dieses industrielle Domänenwissen ist der eigentliche Schlüssel für Marktdominanz im Zeitalter der Industrial-AI. Wer die Prozesse versteht, wird auch die KI erfolgreich einsetzen.“

Das Positionspapier macht laut VDMA deutlich: Industrial AI entfaltet ihren Nutzen nur dann, wenn sie systematisch in industrielle Prozesse, gewachsene Architekturen und gesamte Wertschöpfungsketten integriert wird. Standards wie OPC UA und die zugehörigen industriespezifischen Companion Specifications, digitale Zwillinge und industriegetriebene Datenräume – etwa im Rahmen von Manufacturing-X – schaffen dafür die Voraussetzung. Sie ermöglichen es, Daten sicher, interoperabel und skalierbar – auch unternehmensübergreifend – zu nutzen und KI-Anwendungen von der Pilotphase in den industriellen Dauerbetrieb zu überführen.

Ein besonderes Zukunftsfeld sieht der VDMA in der humanoiden Robotik. Sie gilt als Königsklasse der Industrial AI mit lernenden, räumlich agilen Systemen, die Wahrnehmung und Aktion direkt miteinander verbinden. „Humanoide Roboter werden eine neue Maschinenklasse begründen“, erläutert Rauen. „Sie finden Anwendung in Industrie, Logistik, Pflege, Haushalt oder Landwirtschaft. Quantitativ wie qualitativ bildet sich hier ein zentrales Zukunftsfeld der Industriegesellschaft heraus, das die europäische Industrie besetzen muss.“ www.vdma.org

Dassault Systèmes und Neura Robotics wollen virtuelle Welt und reale Robotik verbinden



Partnerschaft Dassault und Neura: (v.li.): Arne Nordmann, Neura Robotics, Michael Mayr und Philippe Bartissol, Dassault Systèmes, David Reger, Neura Robotics, Sabine Scheunert und Jeroen Buring, Dassault Systèmes. Bild: Dassault Systèmes

Dassault Systèmes und Neura Robotics haben eine Partnerschaft angekündigt, um virtuelle Welten nahtlos mit realer Robotik zu verbinden und damit die Entwicklung von Physical AI in der Industrie zu beschleunigen. Ziel sei es, KI-gestützte Automatisierung schneller umzusetzen und weltweit skalierbar zu machen und damit die Lücke zwischen virtueller Planung und realer Produktion zu schließen. Die beiden Unternehmen kombinieren den Angaben zufolge die Virtual-Twin-Techniken von Dassault Systèmes mit der kognitiven Robotik von Neura Robotics. Kern der Partnerschaft

sei die Integration des Neuraverse – Neuras kontinuierlich lernende Plattform für Physical AI, die Roboter, Menschen und Daten kollaborativ vernetzt – mit der 3D-Experience Plattform von Dassault Systèmes. Gemeinsam entstehe eine Umgebung, die virtuelle Planung, KI-gestütztes Training und die Ausführung durch reale Robotersysteme miteinander verbinde. So werde beispielsweise Neuras humanoider Roboter 4NE1 nahtlos in die 3D-Experience Plattform eingebunden. Dadurch werde die Grundlage für die schrittweise Integration weiterer Robotikformfaktoren geschaffen.

Es entstehe ein geschlossener Innovationskreislauf: Virtuelle Modelle werden zur Grundlage realer Anwendungen, Roboter sammeln Erfahrungen im Einsatz und verbessern sich kontinuierlich. Automatisierung werde dadurch mit jeder Iteration effizienter. Im Rahmen des 3D UNIV+RSES-Ansatzes von Dassault Systèmes werden virtuelle Zwillinge, reale Robotik und KI in einer einheitlichen, skalierbaren Innovationsumgebung zusammengeführt.

Die Zusammenarbeit der Unternehmen soll den gesamten Lebenszyklus der Robotik abdecken: von der Planung über die Simulation bis zum Einsatz. Unternehmen können Roboterlösungen dadurch schneller entwickeln, effizient betreiben und einfacher skalieren. www.3ds.com/de

Erfolgreiches Jahr 2025 für die ifm-Gruppe

Das Jahr 2025 ist für die ifm-Unternehmensgruppe nach eigenen Angaben sehr positiv zu Ende gegangen. Währungsberingung konnte der Umsatz um 10 % auf



Christoph von Rosenberg, CFO der ifm-Unternehmensgruppe. Bild: ifm

1,47 Mrd. Euro gesteigert werden. „Dieses sehr positive Ergebnis des Jahres 2025 ist vor allem deswegen bemerkenswert, da wir es trotz der geopolitischen Herausforderungen geschafft haben, das hohe Wachstum, nahezu wie geplant, weltweit zu realisieren“, sagt Christoph von Rosenberg, CFO der ifm-Unternehmensgruppe. Der sinkenden Nachfrage auf dem deutschen Markt insbesondere durch die schwache Auftragslage im Maschinenbau stehe ein starkes Wachstum in der Region Asien/Pazifik sowie in Amerika gegenüber. Im Speziellen überzeugten die Kunden viele Produktneheiten im Bereich der Prozessindustrie, die für erhebliches Wachstum in diesem Segment sorgten.

Trotz erheblicher Wechselkurseffekte habe das Ergebnis vor Zinsen und Steuern (EBIT) im Vergleich zum Vorjahr um 1 % auf 69 Mio. Euro leicht gesteigert werden können. Die Personalstärke stieg auf rund 9 120 Mitarbeitende, von denen mehr als 5 260 in Deutschland tätig sind. Insgesamt sind rund 1 500 Mitarbeitende in Forschung & Entwicklung beschäftigt, heißt es weiter. Dies sei ein wichtiges Zeichen für die Innovationskraft der Unternehmensgruppe. www.ifm.com

Die Leichtbaukupplung für Drehmomentaufnehmer

Die neue Aluminium-Ausführung der bewährten ROBA® DS für Drehmomentaufnehmer (Type 9120) kombiniert geringes Gewicht mit verbesserter Leistungsdichte. Ideal für drehzahlkritische Anwendungen und anspruchsvolle Prüfstandstechnik.



Ihr zuverlässiger Partner

www.mayr.com



Besuchen Sie uns auf der Automotive Testing Expo: Halle 1, Stand 1824

IMPRESSUM

Konstruktion

ISSN 0720-5953, 78. Jahrgang 2026

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. Kristin Paetzold-Byhain,
Technische Universität Dresden

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
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/Veröffentlichungsgrund-
lagen: 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

Beatrice Gerner

Layout

Alexander Reiß

Leitung Sales Solutions

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

Anzeigenverkauf

Juliana Leven,
Telefon +49 211 6103 150
[jliven@vdi-fachmedien.de](mailto:jleven@vdi-fachmedien.de)

Es gilt der Anzeigentarif Nr. 58
vom 1. Januar 2026.

Vertrieb und Leserservice:

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

Bezugspreise

9 Ausgaben jährlich
(davon 1/2, 7/8 und 11/12 als Doppelausgaben)
Jahresabonnement: € 612,- (E-Paper 510,-)
VDI-Mitglieder: € 534,60 (E-Paper 525,-)
nur für persönliche Mitglieder
Studenten: € 142,- (E-Paper € 472,50)
gegen Studienbescheinigung
Preise (Inland inkl. MwSt., Ausland exkl.
MwSt.) zzgl. Versandkosten
(Inland: € 17,-, Ausland: € 36,-
Luftpost auf Anfrage)
Einzelheft: € 70,- 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

Möller Pro Media GmbH
Zeppelinstraße 6, 16356 Ahrensfelde

Copyright

Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen
Beiträge und Abbildungen sind urheberrecht-
lich 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



Personalia

Mario Poltronieri hat zum 1. April 2026 die Funktion des Präsidenten der deutschen Niederlassung der Mitsubishi Electric Europe B.V. übernommen. Er folgt auf Andreas Wagner, der zeitgleich die Leitung der italienischen Niederlassung von Mitsubishi Electric übernommen hat. Poltronieri war bislang Präsident der italienischen Niederlassung und bringt umfangreiche internationale Führungserfahrung innerhalb des Konzerns mit, so das Unternehmen. Unter seiner Führung habe sich die italienische Niederlassung erfolgreich strategisch weiterentwickelt und ihre Stellung in bedeutenden Zukunftsmärkten ausgebaut.

Dr. Jens Falker hat zum 1. April die Nachfolge von Dr. Edgar Verlemann in der Geschäftsführung von GNM angetreten. Die Geschäftsführung besteht nun aus Falker als Geschäftsführer mit Schwerpunkt Technik, sowie dem geschäftsführenden Gesellschafter Michael Lösch. Falker ist seit 2020 bei GMN tätig. Er war dort zunächst für die Entwicklung und das Engineering der Spindeltechnik zuständig. Zuletzt übernahm er die technische Leitung aller Geschäftsbereiche.

Thorsten Trippler verstärkt zum 1. April den Vorstand der Friedrich Graepel AG. Er ergänzt als kaufmännischer Vorstand das Vorstandsteam aus Felix und Carlo Graepel. Trippler bringt langjährige Erfahrung in der Unternehmensberatung sowie in operativer Führungsverantwortung mit. Der ZF-Aufsichtsrat hat *Dr. Peter Holdmann* zum Chief Technology Officer (CTO) ernannt. Die neu geschaffene Funktion unterstreicht laut ZF den strategischen Stellenwert von Technologie und Entwicklung für Innovationsfähigkeit und wirtschaftlichen Erfolg des Konzerns. Als Mitglied des ZF-Vorstands verantwortet Holdmann bereits das Ressort Forschung und Entwicklung (R&D). Mit der Einführung der CTO-Position bündelt ZF die konzernweite technologische Steuerung auf Vorstandsebene. Ziel sei es, Forschung und Entwicklung über alle Divisionen des Unternehmens hinweg noch wirksamer, effizienter und wettbewerbsfähiger an den Kundenwünschen auszurichten. Eine vergleichbare Rolle existierte bei ZF zuletzt nicht, heißt es weiter.

Humanoide Robotik: Schunk und DLR kooperieren

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und das Unternehmen Schunk haben auf der Hannover-Messe einen Lizenzierungsvertrag unterschrieben. Im Mittelpunkt der Vereinbarung steht die vom DLR entwickelte Smart-Hand-Technik. Mit ihr könne Schunk die menschenähnliche Geschicklichkeit seiner Roboterhände für industrielle Anwendungen ausbauen. Besonders komplexe Aufgaben, die einen hohen Anspruch an die Feinmotorik stellen, könnten so weiter automatisiert werden.

Die Lizenzierung von Schutzrechten sei für das DLR wichtig, um Forschung in die Anwendung zu bringen. Das DLR verfügt am Institut für Robotik und Mechatronik über umfassende Erfahrung in der Entwicklung von Roboterlösungen und arbeitet bereits seit rund 20 Jahren mit Schunk zusammen, heißt es weiter.

www.dlr.de / www.schunk.com



Unterzeichnung Lizenzierungsvertrag auf der Hannover-Messe: (v.li.) Dr. Martin May, Director Innovation and Technology Management bei Schunk, Timo Gessmann, Global CTO bei Schunk, Prof. Karsten Lemmer, Mitglied des DLR-Vorstands und verantwortlich für Innovation, Transfer und wissenschaftliche Infrastrukturen, und Prof. Alin Albu-Schäffer, Direktor des DLR-Instituts für Robotik und Mechatronik. Bild: Schnell

Liebherr: stabile Entwicklung im Jahr 2025

Die Unternehmensgruppe Liebherr hat sich nach eigenen Angaben insgesamt stabil entwickelt und das Geschäftsjahr 2025 mit einem Umsatz von 14 772 Mio. Euro abgeschlossen. Aufgrund breiter Diversifikation und der dezentralen Struktur habe die Liebherr-Gruppe rückläufige Absätze in einzelnen Produktsegmenten ausgleichen können.

In den Produktsegmenten Maritime Krane, Aerospace und Verkehrstechnik, Verzahnentechnik und Automationssysteme, Kühl- und Gefriergeräte, Komponenten sowie Hotels erzielte Liebherr einen Gesamtumsatz von 5 427 Mio. Euro. Dies entspricht einer deutlichen Steigerung von 14,7 % im Vergleich zum Vorjahr, führt Liebherr aus. Rückläufig habe sich dagegen der Bereich Baumaschinen und Mining entwickelt, zu dem die Produktsegmente Erdbewegung, Materialumschlag, Spezialtiefbau, Mining, Mobil- und Raupenkrane, Turmdrehkrane und Betontechnik zählen. Wenngleich die Produktsegmente Spezialtiefbau und Turmdrehkrane zulegen konnten, ging der Umsatz des Bereichs gesamthaft um 5,5 % auf 9 345 Mio. Euro zurück.

Im Geschäftsjahr 2025 investierte die Gruppe 708 Mio. Euro in ihre Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Im Bereich Autonomie hat Liebherr nach eigenen Angaben zahlreiche Meilensteine erreicht.

Beispiele seien ein autonom arbeitender Radlader, der mit dem prämierten System „Liebherr Autonomous Operations“ ausgestattet ist, der Prototyp für einen autonomen, batterieelektrischen und einachsigen Muldenkipper oder auch autonome Mining-Trucks, die kurz vor dem produktiven Einsatz stehen.

Ein weiterer Entwicklungs-Schwerpunkt habe auf alternativen Antriebstechniken gelegen. So habe Liebherr sein Portfolio um



Die neue Mobilmix 4.0 aus dem modularen Baukasten wurde auf der Bauma 2025 zum ersten Mal der Öffentlichkeit präsentiert. Bild: Liebherr

neue, elektrifizierte Baumaschinen oder einen ersten batterieelektrischen Raupenbagger erweitert.

Regional entwickelten sich die Umsätze der Gruppe unterschiedlich, heißt es weiter. Rückgänge waren in Asien und Ozeanien und in Nordamerika zu verzeichnen. In Europa waren die Geschäfte in den Nicht-EU-Ländern rückläufig, in der EU konnte Liebherr ein Umsatzplus erzielen, das insbesondere von einer positiven Entwicklung in Deutschland getragen wurde. Gewachsen ist Liebherr ebenfalls in Mittel- und Südamerika und in der Absatzregion Afrika / Naher und Mittlerer Osten. Auch die Mitarbeiterzahl ist weiter gewachsen: Zum Jahresende beschäftigte Liebherr weltweit insgesamt 55.963 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, 1 235 mehr als im Vorjahr. www.liebherr.com

Produktmanagement-Dialog: Rollen und Implementierung

Der Produktmanagement-Dialog des VDI's geht am 2. Juni 2026 von 17 bis 18 Uhr in die nächste Runde – diesmal mit dem Thema „Strategisch führen – die zentrale Rolle des Produktmanagements im Unternehmen“. Im Fokus steht dabei die Frage, wie die ideale Implementierung des Produktmanagements im Unternehmen aussehen könnte.

Jan Marrenbach, strategischer Produktmanager der Weidmüller Gruppe, Detmold, gibt in einem Impulsvortrag Einblicke in die Rolle des Produktmanagements und dessen strategische Verankerung im Unternehmen.

Dabei stellt er ein konkretes Implementierungsmodell zur Optimierung oder Einführung des Produktmanagements in Unternehmen vor.



Freuen Sie sich auf praxisnahe Impulse und diskutieren Sie mit. Weitere Informationen und Anmeldung unter:

www.vdi.de/produktmanagement-dialog

Produktmanagement-Dialog am 2. Juni 2026.
 Thema: „Strategisch führen – die zentrale Rolle des Produktmanagements im Unternehmen“
 Bild: [gettyimages/morsa](https://www.gettyimages.com/morsa)

Neue Richtlinien im Mai

VDI 2803 Blatt 1 „Funktionenanalyse“ – komplett neu überarbeiteter Entwurf

Bei Wertanalyseprojekten werden mit Hilfe der Funktionenanalyse die Wirkungen von Objekten analysiert. Es wird die Frage betrachtet, welche Funktionen in einem Objekt enthalten sein müssen, um die gestellten Anforderungen zu erfüllen. Im Mai erscheint ein komplett neu überarbeiteter Entwurf der Richtlinie VDI 2803 Blatt 1 „Funktionenanalyse“. Die neue Richtlinie zeigt Schritt für Schritt, wie Funktionenanalyse durchgeführt wird. Sie lässt sich dabei branchenunabhängig auf Produkte, Prozesse und Dienstleistungen anwenden. Leser finden in der Richtlinie einen Leitfaden, der mit vielen Beispielen Handlungsanweisungen praxisorientiert illustriert. www.vdi.de/2803

VDI 2057 Blatt 2 „Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen – Hand-Arm-Schwingungen“

Die ebenfalls im Mai als neuer Entwurf erschienene Richtlinie VDI 2057 Blatt 2 gibt eine Zusammenstellung allgemeiner Hinweise für die Ermittlung der Belastung durch Hand-Arm-Schwingungen und beschreibt ein einheitliches Verfahren für die Beurteilung dieser Schwingungsexposition.

Aus den physikalischen Daten der Schwingungsmessungen wird unter Berücksichtigung der frequenzabhängigen Wirkung der Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung als Kenngröße der Schwingungsbelastung gebildet. Es werden keine Grenzwerte für die Zumutbarkeit oder Zulässigkeit von Schwingungsbelastungen gegeben. Die Richtlinie enthält jedoch Richtwerte und Hinweise für die Beurteilung der Belastung durch Hand-Arm-

Schwingungen im Hinblick auf die zu erwartenden Wirkungen auf den Menschen.

Die neue Ausgabe integriert neben der Aktualisierung der Normenbezüge auch Ergebnisse aus neuen Fallstudien. Zudem wird auf die Auswirkungen der neuen Maschinenverordnung eingegangen

www.vdi.de/2057

HINWEIS ZU DEN RICHTLINIEN:

Herausgeber der Richtlinien ist die VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (VDI-GPP). Die VDI 2803 Blatt 1 und VDI 2057 Blatt 2 sind im Mai 2026 als Entwürfe erschienen. Sie können zum Preis von 81,50 Euro beziehungsweise 96,60 Euro beim DIN Media Verlag (Tel.: +49 30 2601-2260) bestellt werden. VDI-Mitglieder erhalten 10 % Preisvorteil auf alle VDI-Richtlinien. Onlinebestellungen sind unter www.vdi.de/2803, www.vdi.de/2057 oder www.dinmedia.de möglich. Die Möglichkeit zur Mitgestaltung der Richtlinie durch Stellungnahmen bestehen durch Nutzung des elektronischen Einspruchsportals oder durch schriftliche Mitteilung an die herausgebende Gesellschaft (gpp@vdi.de). Die Einspruchsfrist endet für beide Richtlinien am 31.7.2026. VDI-Richtlinien können in öffentlichen Auslegestellen kostenfrei eingesehen werden.

Aufruf zur Mitarbeit

Überarbeitung der VDI 2057 Blatt 1 – Ganzkörper-Schwingungen

Die Richtlinie VDI 2057 Blatt 1, die als Grundlage für die Bewertung von Belastungen und möglichen gesundheitlichen Auswirkungen durch Vibrationseinwirkungen am Arbeitsplatz dient, steht vor einer Überarbeitung. Ziel ist es, die Inhalte dieser Richtlinie an die heutigen Anforderungen anzupassen. Dafür suchen wir die Expertise und das Engagement erfahrener Fachleute! Die VDI 2057 Blatt 1 hat die letzten Jahre als Orientierung für die Ermittlung von Belastungen durch Ganzkörper-Vibrationen gedient und als Grundlage zur Beurteilung dieser. Aufgrund der Überarbeitung der ISO 2631-1 in der internationalen Arbeitsgruppe des ISO/TC 108/SC 4, an welche die VDI 2057 Blatt 1 in großen Teilen angelehnt ist, erscheint eine Überarbeitung der Richtlinie ebenfalls notwendig.

Ihre Unterstützung ist gefragt! Wir laden Sie herzlich ein, sich aktiv an der Überarbeitung zu beteiligen. Ihre Erfahrungen und Ideen sind entscheidend, um sicherzustellen, dass die neue VDI

2057 Blatt 1 sowohl in der Theorie als auch in der Praxis den Anforderungen an heutige und zukünftige Standards gerecht wird.

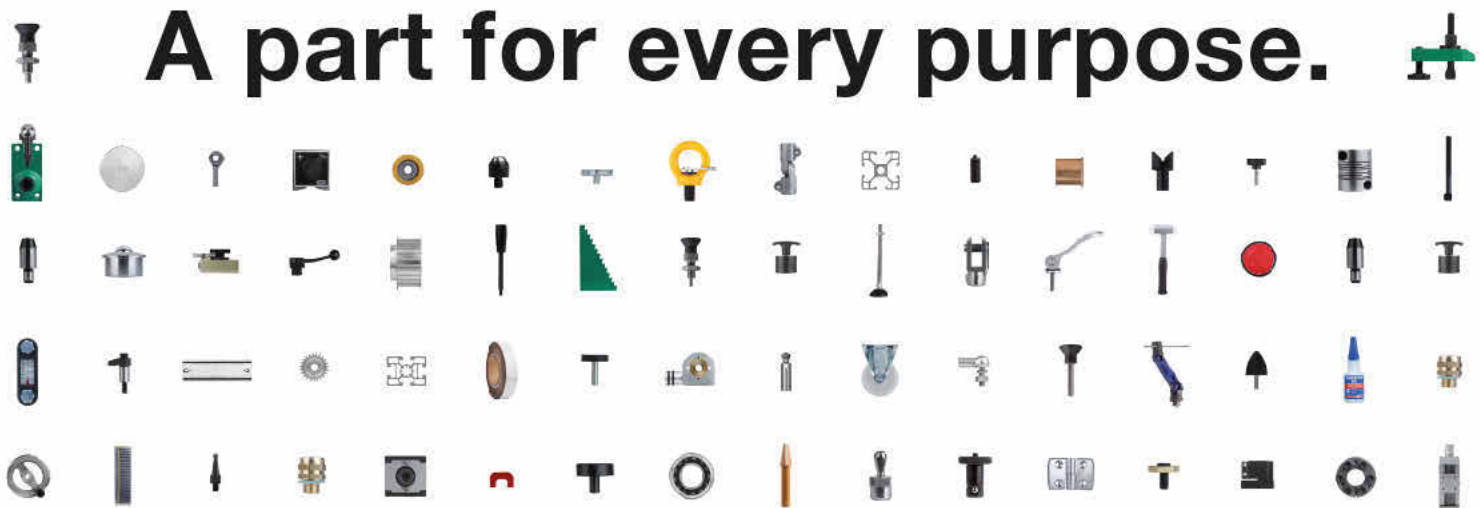
Profitieren Sie dabei von einem Netzwerk von Expertinnen und Experten und nutzen Sie die Möglichkeit, zukünftige Standards aktiv mitzugestalten. Treten Sie ein in einen fachlichen Austausch auf Augenhöhe.

Gemeinsam wollen wir die VDI 2057 Blatt 1 mit dem Ziel erneuern, den interessierten Kreisen einen guten Überblick über die Beurteilung und Auswirkungen von Ganzkörper-Vibrationen zu geben. Bringen Sie Ihre Expertise ein, damit die Richtlinie auch in Zukunft ein wertvolles Werkzeug bleibt! Die konstituierende Sitzung ist für den 25.06.2026 von 10 bis 12 Uhr als Webmeeting geplant.

Melden Sie sich gerne bei uns, um weitere Informationen zur Mitarbeit zu erhalten und um an der Überarbeitung teilzunehmen:

bianca.fritz@vdi.de

www.vdi.de/2057



SCHELLER FINDEN, WAS SIE SUCHEN!

Die richtige Auswahl für Ihre Konstruktionslösung an mehr als **140.000 Norm- und Bedienteilen** finden Sie auf unserer einfachen und übersichtlichen Webseite, welche Ihnen viele Vorteile bietet. Mehr wissen, mehr finden und bessere Lösungen erzielen.

» www.norelem.de «



www.norelem.de

Halbzeuge aus Hochleistungskunststoff

Schnell und einfach zum individuellen CNC-Bauteil

Benötigen Konstrukteure oder der technische Einkauf kurzfristig individuelle Dreh- oder Frästeile, kann die Abstimmung per Telefon und E-Mail zeitaufwendig sein und zu Verzögerungen im Projekt führen. Aus diesem Grund bietet ein Kunststoffspezialist einen Online-CNC-Service an, der die Auftragsabwicklung automatisiert und deutlich vereinfacht – inklusive Live-Übersicht mit Sofortpreisen, für die es keine Anmeldung braucht. Die CNC-Bauteile aus Hochleistungskunststoff sind in wenigen Tagen versandfertig.

Für Robert K. beginnt der Arbeitstag stressig. In zwei Wochen soll der Konstrukteur einem Automobilhersteller den Prototyp eines neuen Getriebes präsentieren. Doch es stellt sich heraus, dass ein Sonderbauteil 3 mm zu kurz ist. Robert K. sucht eine Lösung und recherchiert nach einem Fertigungsdienstleister. Doch bereits die Abstimmung per E-Mail und Telefon dauert zwei Tage. Das Bauteil trifft schließlich erst zwei Wochen später ein. Die Deadline ist gerissen, der Kunde verärgert.

„Wir erleben derzeit, dass viele Konstrukteure unter hohem Zeitdruck stehen. Projekte müssen in immer kürzerer Zeit und mit geringeren Ressourcen realisiert werden“, sagt Patrick Schwitalla, Lean-Engineer Iglidur Halbzeuge bei Iigus (Eigenschreibweise: iglus). Das Unternehmen stellt an seinem Hauptsitz in Köln mit CNC-Maschinen aus Halbzeugen aus Hochleistungskunststoffen Sonderbauteile her.

Einfache Konfiguration in wenigen Minuten

„Wir wollen den Abstimmungsaufwand im technischen Einkauf reduzieren, damit Konstrukteure Sonderteile schneller erhalten und sich auf ihre Kernaufgaben konzentrieren können.“ Der Schlüssel an dieser Stelle ist laut Schwitalla die Digitalisierung. „Wir bieten unseren Online-CNC-Service an, mit dem Konstrukteure und der technische Einkauf die Ab-



Bild 1: Die Halbzeuge aus Hochleistungskunststoff liegen in einer großen Materialvielfalt vor und sind für unterschiedlichste Anforderungen geeignet – ob Chemikalienbeständigkeit, hohe Temperaturbeständigkeit oder FDA-Konformität. Bild: igus SE & Co. KG

stimmung automatisieren und die Auftragsabwicklung deutlich beschleunigen können.“

So funktioniert der Online-Service auf der Website des Unternehmens: Anstatt eine E-Mail zu schreiben, lädt der Nutzer ein 3D-Modell in die Maske des Online-Tools und erhält eine automatisierte Machbarkeitsanalyse mit transparenter

Preisauskunft. Die Software analysiert das 3D-Modell in wenigen Sekunden, bestimmt passende Iglidur Halbzeuge (Eigenschreibweise: iglidur) und ermittelt den Aufwand für die CNC-Bearbeitung. Kunden können auch Bauteile kalkulieren, die eine kombinierte Dreh- und Fräsbearbeitung erfordern. Es besteht zusätzlich die Möglichkeit, technische 2D-Zeichnungen

gen hochzuladen. Nach Upload der relevanten 3D- oder auch 2D-Daten wählt der Nutzer den gewünschten Werkstoff aus und gibt die benötigten Stückzahlen an. Bei Bedarf können zusätzlich Angaben zu Toleranzen und Oberflächen gemacht werden. Anschließend gibt es grünes Licht für die Fertigung.

Große Materialvielfalt und hohe Lebensdauer

Doch welches Material soll zum Einsatz kommen? „Wir bieten unseren Kunden dabei eine Auswahl von über 50 Hochleistungskunststoffen für unterschiedlichste Anforderungen: von besonders chemikalien- und temperaturbeständigen Werkstoffen bis hin zu FDA-konformen Materialien“, erklärt Christoph Vollbracht, Leiter Geschäftsbereich Iglidur Halbzeuge bei Ibus. Ihre Gemeinsamkeit: Wegen der integrierten Festschmierstoffe im Material ermöglichen sie einen Trockenlauf ohne Schmierfett oder -öl.

Ihre technischen Eigenschaften sind im Online-CNC-Tool einsehbar, etwa die Biege- festigkeit, die maximale Flächen- pressung und die obere langfristige Anwendungstemperatur. Jeder Werkstoff wird durch seine Eigenschaften zum Spezialisten für ein bestimmtes Einsatzgebiet. Die Materialwissenschaftler von Ibus entwickeln kontinuierlich neue Materialien, die exakt auf spezielle Anwendungsfälle abgestimmt sind.

„Die Kombination aus tribologisch, sprich auf Reibung und Verschleiß, optimierten Hochleistungspolymeren und CNC-Fertigung ermöglicht entsprechend langlebige und leistungsstarke Sonderlösungen“, betont Vollbracht. Den Beweis dafür erbringt Ibus im hauseigenen, 5500 m² großen Testlabor. Ein Beispiel: Ein gefrästes Lager aus Iglidur J bewegte sich auf einer V2A-Stahl-Welle mit einer Geschwindigkeit von 0,3 m/s und einer Belastung von 1 N/mm². Das Lager erreichte eine Lebensdauer von 6.944 Betriebsstunden. Konkurrenten aus POM kamen auf 2.480 Stunden, aus PEEK auf 560 Stunden und aus PA66 auf 106 Stunden. Die zahlreichen Tests im Ibus Labor sollen es zudem künftig möglich machen, dass Nutzer des Online-CNC-Tools auch sehen können, wie lange ihr Bauteil in seiner spezifischen Anwendung halten wird.

Im Zuge einer möglichen strengeren EU-Regulierung von PFAS-Chemikalien, die durch ihre potenziell negativen Aus-



Bild 2: Der Online CNC-Service bietet eine Live-Übersicht mit Sofortpreisen sowie eine einfache und schnelle Bestellabwicklung. Bild: igus SE & Co. KG

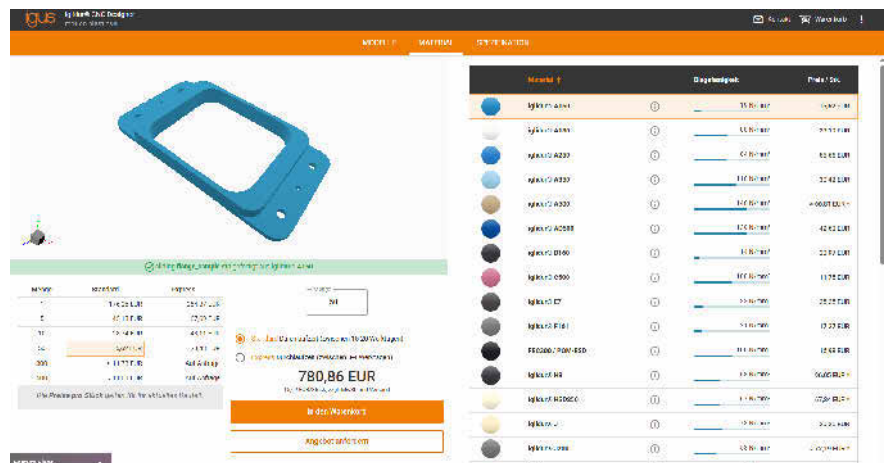


Bild 3: Im Online-CNC-Tool erhalten Nutzer eine transparente Übersicht der verfügbaren Werkstoffe, ihrer technischen Eigenschaften sowie der Preise. Bild: igus SE & Co. KG

wirkungen auf Mensch und Umwelt in die Kritik geraten sind, hat Ibus auch bereits alternative Werkstoffe entwickelt, die frei von PTFE (einer Untergruppe der PFAS) sowie erfolgreich PFAS-geprüft sind. „Besonders in sensiblen Bereichen wie der Medizintechnik suchen Konstrukteure schon heute nach PFAS-freien Varianten“, sagt Schwitalla.

Erste Materialien frei von PFAS-Verbindungen

Aus diesem Grund hat Ibus seine alternativen Werkstoffe auf die 96 kritischsten PFAS-Verbindungen geprüft und bietet Konstrukteuren so Planungs- und Betriebssicherheit. In der Materialiste des CNC-Tools ist auf den ersten Blick er-

sichtlich, welche Materialien PTFE-frei und PFAS-getestet sind.

„Aufgrund der übersichtlichen Darstellung der verschiedenen Materialien sowie der Möglichkeit, diese nach ihren Eigenschaften wie Lebensmittelkonformität oder Temperaturbeständigkeit zu filtern, können Nutzer des Online-CNC-Tools in kurzer Zeit eine Lösung finden, die eine optimale Balance aus Funktionalität und Wirtschaftlichkeit bietet – ohne Durchsuchen von Websites, ohne E-Mails, ohne Telefonanrufe“, betont Schwitalla. Das Tool bietet auch eine Modell-Bibliothek, um größere Aufträge mit mehreren Bauteilen in einer Listenansicht parallel zu managen. Ist das passende Material schließlich gefunden, kann der Konstrukteur das Bauteil im Online-Tool anfragen

oder direkt bestellen. Eine Liste zeigt, wie sich der Preis mit der Stückzahl verändert. „Entscheidet sich der Konstrukteur nun für eine Express-Abwicklung, sind die gedrehten oder gefrästen Bauteile bereits ab drei Tagen versandfertig. Ein weiterer Vorteil: Bei Igus erhalten Kunden alles aus einer Hand. „Ob Online-Tool, vielfältige Materialauswahl, Fertigung oder individuelle Beratung – alles kommt

direkt von uns“, so Schwitalla. „Mit unserem Online-CNC-Service bekommen Kunden ihr CNC-Sonderteil in kürzester Zeit – so komfortabel wie möglich.“

Entlastung des technischen Einkaufs mit KI-Funktionen

Um die Abwicklung für den Kunden weiter zu vereinfachen, erweitert Igus das

Online-Tool stets um neue Funktionen. „So ist inzwischen eine KI-gestützte Funktion integriert, die technische Zeichnungen automatisiert analysiert und unmittelbar Rückmeldung zur Fertigbarkeit gibt“, sagt Schwitalla. „Der Nutzer erfährt innerhalb einer Minute, ob alles passt oder bestimmte Toleranzen und andere Zeichnungsangaben für eine kunststoffgerechte Bearbeitung angepasst werden müssen.“ Die automatisierte Machbarkeitsbewertung reduziert Rückfragen und Iterationsschleifen und entlastet damit sowohl Konstrukteure als auch den technischen Einkauf. Die Kombination aus digitaler Prozessbeschleunigung und hochwertigen, nachhaltigen Materialien bietet Konstrukteuren eine ganzheitliche Lösung, um Projekte schneller, effizienter und zukunftssicher umzusetzen. ■

BEISPIEL: PRODUKTIONSLINIE PÜNKTLICH WIEDER IN BETRIEB

Wie sich der Service in der Praxis bewährt, zeigt das Beispiel der Dr. Quendt GmbH, dem größten Hersteller von Dresdner Christstollen, Russisch Brot und Dominosteinen. Das Unternehmen wollte ein kurzes Wartungsintervall an einer seiner Produktionslinien effizient nutzen, um bestehende PA-Lager durch Gleitlager aus Hochleistungskunststoff zu ersetzen. Weil nur ein sehr kurzer Zeitraum zur Verfügung stand, mussten die individuellen CNC-Drehteile schnell beschafft werden. Über das Online-Tool von igus konnte das Unternehmen die benötigten Bauteile einfach hochladen, den Preis schnell automatisch berechnen lassen und direkt bestellen. Fünf Tage später trafen die exakt gefertigten iglidur Lager ein und ließen sich fristgerecht montieren. „Die sehr schnelle Angebotsberechnung und der Express-Versand des Online-CNC-Service von igus ermöglichte uns, die Produktionslinie pünktlich wieder in Betrieb zu nehmen“, so Tom Oldach, Projektingenieur bei der Dr. Quendt GmbH & Co. KG.

Kontakt

igus SE & Co. KG
51147 Köln
de-info@igus.net
www.igus.de

EU-Verbot von Bisphenol-A: Neuer Werkstoff für Lebensmittelmaschinen

Hersteller von Maschinen für die Lebensmittelindustrie müssen umdenken. Ab Juli 2026 dürfen aufgrund der EU-Verordnung 2024/3190 Komponenten mit Produktkontakt keine Bauteile mehr nutzen, die den hormonell wirksamen Kunststoffbestandteil Bisphenol-A enthalten. Das Verbot gilt für alle Maschinen, die neu in den Markt eingeführt werden. Für bestehende Produktionslinien gilt die Frist bis zum Januar 2028. Der schmierfreie Hochleistungskunststoff Iglidur A351 ermöglicht laut Igus Konstruktion BPA-freier Komponenten gemäß der EU-Verordnung 2024/3190. Iglidur A351 wird den Angaben zufolge durch eine Kombination mehrerer Eigenschaften den hohen Anforderungen der Lebensmittelindustrie gerecht. Der Werkstoff besitzt eine Dichte von etwa 1,42 g/cm³. Damit erreicht er eine hohe Stabilität bei niedrigem Gewicht im Vergleich zu Metalllösungen. Gleichzeitig erreicht das Material eine Druckfestigkeit von rund 78 MPa, sodass Bauteile auch unter höheren Flächenpressungen zuverlässig arbeiten können. Ein weiterer Vorteil ist die geringe Feuchtigkeitsaufnahme von etwa 0,6 %. Somit sind Maßhaltigkeit und Funktionssicherheit auch in feuchten Produktionsumgebungen gewährleistet. Darüber hinaus ist iglidur A351 für Dauertemperaturen zwischen –100 °C und +180 °C ausgelegt. Der Werkstoff übersteht somit hohe Prozesstemperaturen in der Lebensmittelindustrie und intensive Reinigungszyklen, führt das Unternehmen aus.



Der Werkstoff Iglidur A351 ist ein Bisphenol-freies und FDA-konformes Material, welches für den Kontakt mit Lebensmitteln zugelassen ist. Bild: Igus SE & Co. KG

Aus Iglidur A351 lassen sich unter anderem Gleitlager für Förderanlagen, Zahnräder für Verpackungsmaschinen und Bauteile mit direktem Produktkontakt wie Führungen oder Abstandshalter in Abfüll- und Verpackungsanlagen fertigen. www.igus.de

Systeme zum Messen und Kalibrieren von Drehmoment und Kraft

Höhere Genauigkeit beim Kalibrieren

Ein Hersteller von Systemen zum sicheren Messen und Kalibrieren fertigt Anlagen zugeschnitten auf die Anforderungen des Kunden. Für einen Anwender, der als Kalibrierdienstleister tätig ist, sollte die Drehmomentmessung optimiert werden. Ziel war es, die Drehmoment-Sollwerte störungsfrei einzuhalten. Dies scheiterte bislang am Spiel des eingesetzten Planetengetriebes. Mit dem Wechsel der eingesetzten Getriebetechnik, konnte die Stabilität und Wiederholgenauigkeit bei der Drehmomentkalibrierung deutlich verbessert werden.

TEXT: F. Herrmann

Die Kernkompetenz des Unternehmens CEH Calibration Engineering Hohmann im unterfränkischen Mömlingen bilden seit mehr als 20 Jahren zuverlässige Systeme zur sicheren Messung und Kalibrierung der Größen Drehmoment und Kraft. „Wir fertigen Prüf-, Kalibrier- und Messeinrichtungen genau nach den individuellen Vorstellungen und Anforderungen unserer Kunden“, beschreiben Gründer Paul Hohmann und Geschäftsführer Steffen Hohmann unisono die Philosophie des Unternehmens. „Zudem ist unser Kalibrierlaboratorium durch die Deutsche Akkreditierungsstelle nach DIN EN ISO 17025 akkreditiert. Dies ermöglicht es uns, DAkkS-konforme Kalibrierungen im mechanischen Bereich Drehmoment anzubieten.“

Ein besonders wichtiger Anwender der CEH-Anlage ist Testo Industrial Services, die als Kalibrierdienstleister die Anlage sowohl im eigenen Labor als auch vor Ort beim Kunden einsetzen. Die Kalibriereinrichtung ist aktuell in der modernen Calibration Factory von Testo Industrial Services im Einsatz, wo sie für akkreditierte Kalibrierdienstleistungen und anspruchsvolle Kundenprojekte genutzt wird. Das Unternehmen bietet als Kalibrierdienst-



Bild 1: Die CEH-Kalibriereinrichtung ist aktuell in der Calibration Factory von Testo Industrial Services im Einsatz, wo sie für akkreditierte Kalibrierdienstleistungen und Kundenprojekte genutzt wird. Bild: Wittenstein



Bild 2: Das Winkelgetriebe Galaxie GH 175 ist in die Kalibriervorrichtung integriert, durch die die Drehmomentaufnehmer mit den definierten Laststufen beaufschlagt werden. Bild: Wittenstein

leistet ein breites Spektrum an akkreditierten Kalibrierungen. Die Zusammenarbeit zwischen CEH und Testo Industrial Services unterstreicht die Praxistauglichkeit und Leistungsfähigkeit der Lösung.

Ziel: reibungsloses Arbeiten mit der Kalibriereinrichtung

Um die Kundenlösungen möglichst perfekt umzusetzen, wird in der Entwicklung und im Kalibrierlabor bei CEH ständig an Innovationen und Verbesserungen beispielsweise der Drehmomentkalibriereinrichtungen gearbeitet. „Jüngste Beispiele, die den Endkunden ein noch reibungsloseres Arbeiten mit den Drehmomentkalibriereinrichtungen ermöglichen, sind unsere eigens dafür entwickelte Luftlagerungen – und auch der Umstieg auf die Galaxie-Getriebetechnik von Wittenstein“, berichtet Steffen Hohmann.

Mit der Getriebemarke Galaxie hat Wittenstein die in Wissenschaft und Industrie anerkannte Gattung der Einzelzahn-Schubgetriebe geschaffen. Sie ist – bedingt durch das Prinzip dynamisierter Einzelzähne mit hydrodynamischem und vollflächigem Zahneingriff – im Vergleich zu bekannten Planeten-, Zykloid-, Exzenter- und anderen Getriebe-Prinzipien nachgewiesenermaßen in allen wichtigen technischen Disziplinen um ein Vielfaches besser. So sind die unter anderem Drehsteifigkeit bis zu einem Faktor 5,8 und die Überlastfähigkeit bis zu einem Faktor 3 größer, als bei vergleichbaren Getrieben am Markt. Wie erste Prototypentests gezeigt haben, können von diesen Merkmalen eine deutliche Performance-



Bild 3: Getriebe der Baureihe Galaxie robustness line. In der Kalibriervorrichtung wird das Winkelgetriebe GH 175 eingesetzt. Bild: Wittenstein

steigerung der Drehmoment-Kalibriereinrichtungen zu erwarten werden. Deshalb hat CEH ein bisheriges Standardgetriebe durch ein leichteres und kompakteres Galaxie-Winkelgetriebe GH 175 der Galaxie robustness line ersetzt.

Die Kalibriereinrichtung, in der das Galaxie-Getriebe GH 175 zum Einsatz kommt, arbeitet mit einem stationären Referenzprinzip. Kalibriert werden können Drehmomentaufnehmer bis 5 kNm mit einer Messunsicherheit von 0,02 %. Die Einhaltung der DIN ISO 51309 „Werkstoffprüfmaschinen-Kalibrierung von Drehmomentmessgeräten für statische Drehmomente“ gewährleistet dabei einen standardisierten und damit vergleichbaren Kalibrierablauf.

Stufenweise Belastung mit definierten Drehmomenten

Um den Drehmomentaufnehmer zu kalibrieren, wird dieser durch die drehbare Vorrichtung der Kalibriereinrichtung stufenweise mit definierten Drehmomenten belastet. „Jedes dieser Drehmomentplateaus muss über eine definierte Zeitdauer gehalten werden, bevor die nächsthöheren oder niedrigeren Stufen angefahren wird“, erläutert Steffen Hohmann. Während der Belastungsstufen werden die Ausgangssignale des Drehmomentaufnehmers, also dem „Prüfling“, aufgezeichnet. Die gemessenen Werte werden dann mit den Referenzwerten des kalibrierten Standardsensors verglichen sowie eine Kalibrierkurve unter Angabe von Linearität und Hysterese erstellt. Nach der Prüfung der Genauigkeit des Aufnehmers auf den verschiedenen Drehmomentplateaus wird die Empfindlichkeit des Sensors berechnet

und schließlich ein Kalibrierzertifikat erstellt.

Getriebe direkt in Drehvorrichtung integriert

Das Winkelgetriebe Galaxie GH 175 ist in die Drehvorrichtung integriert, durch die die Drehmomentaufnehmer mit den definierten Laststufen beaufschlagt werden. Das bislang eingesetzte Planetengetriebe zeigte – bedingt durch die nur geringflächige Linien- oder Punktberührung im Zahnkontakt sowie ein vorhandenes Getriebeispiel – auf den einzelnen Plateaus immer wieder ein Setzverhalten, das die Messungen beeinträchtigt hat. „Die daraus resultierenden Mess-Peaks bedeuteten, dass die vorgegebenen Drehmoment-Sollwerte des jeweiligen Plateaus nicht störungsfrei eingehalten werden konnten. Das wiederum zog ein aufwendiges Nachregeln und damit Verlängern des Kalibrierprozesses nach sich“, erklärt Hohmann. „Zudem war mit dem vorherigen Getriebe aufgrund der geringeren Kontaktfläche im Zahneingriff auch die Überlastfähigkeit deutlich limitiert.“ Darüber hinaus vereinfacht das Getriebe aufgrund seines niedrigeren Gewichts und der kompakten Bauform die Handhabung der Kalibriereinrichtung.

Mit dem in individuellen Motor-Getriebe-Kombinationen einsetzbaren Galaxie GH 175 hat für CEH und seine Kunden diesbezüglich ein neues technisches Zeitalter begonnen. Aufgrund des konstruktiven Prinzips mit dynamisierten Einzelzähnen, die oszillierend mit ihrer Fläche in die Innenverzahnung hinein- und herausgleiten, erreicht jedes Galaxie-Getriebe immer eine Verzahnung mit ei-

nem echten Flächenkontakt. Dadurch wird jegliches Setzverhalten eliminiert, weil im Gegensatz zur Linien- oder Punktberührung anderer Getriebeprinzipien bei Galaxie im Zahneingriff bereits eine optimale Druckverteilung in der Kontaktfläche erreicht ist. Zudem sind aufgrund der besonderen Kinematik des Galaxie-Systems nahezu alle Einzelzähne im Zahnträger an der Drehmomentübertragung und Steifigkeitsbildung beteiligt. Das macht das Galaxie nicht nur spielfrei, sondern gewährleistet auch eine signifikant hohe Überlastfähigkeit sowie dauerhaft sehr hohe Steifigkeit bei Wechselbelastung im Nulldurchgang, wenn die Drehrichtung gewechselt wird, um Drehmomente von steigenden zu fallenden Lastzyklen aufzubringen. „Durch die Integration des Galaxie-Getriebes konnten wir die Stabilität und Wiederholgenauigkeit unserer Drehmomentkalibrierungen weiter verbessern und erreichen noch bessere Messunsicherheiten“, bestätigt Fabian Schneider, Junior Experte / Messgrößenverantwortlicher Drehmoment, Kraft & Waagen bei Testo Industrial Services.

Für hochpräzise und akkreditierte Kalibrierungen

Die erste Drehmomentkalibriermaschine mit integriertem Galaxie-Getriebe hat CEH vor einigen Monaten an Testo Industrial Services ausgeliefert. Gerade im Bereich der Drehmomentkalibrierung setzt Testo Industrial Services mit dieser Anlage neue Maßstäbe: Die Kalibriereinrichtung wird gezielt für hochpräzise und akkreditierte Kalibrierungen eingesetzt, bei denen höchste Anforderungen an Stabilität, Wiederholgenauigkeit und Messunsicherheit gestellt werden. Testo Industrial Services ist mit der Performance der Kalibriereinrichtung nicht zuletzt aufgrund



Bild 4: Die Projektpartner Steffen Hohmann, CEH Calibration Engineering Hohmann (li.), Christopher Bendig, Wittenstein (mi.) und Fabian Schneider, Testo Industrial Services (re.). Bild: Wittenstein

der Vorzüge des GH 175 ebenso zufrieden wie CEH mit dem Getriebe selbst. „Durch die Kombination aus innovativer Getriebetechnologie und unserer langjährigen Erfahrung profitieren Kunden von besonders zuverlässigen und effizienten Kalibrierprozessen und der Möglichkeit, unterschiedlichste Drehmomentaufnehmer flexibel und normgerecht zu kalibrieren“, sagt Schneider. „Wir sind von der Performancesteigerung, die das Galaxie-Getriebe unserer ohnehin hochpräzisen Drehmomentkalibriereinrichtung und unseren Kunden ermöglicht, begeistert – ein echter USP.“ Aus Konstruktionssicht positiv ist, dass das Getriebe eine geringere Masse aufweist und durch seine Baugröße eine Reduzierung der Bauhöhe der Gesamtmaschine ermöglicht. Zudem kann es durch ein Adapterteil an eine Vielzahl verschiedener Motoren angebunden werden. Paul Hohmann resümiert: „Dadurch sind wir bei der Auswahl der Motorfabrikate

frei und können das Getriebe auch in vielen verschiedenen CEH-Anlagen einsetzen. Die niedrige Bauhöhe und einfache Motorintegration ersparen uns viel Zeit bei der Montage. Das Preis-Leistungsverhältnis passt – und wenn es auch künftig bei der schnellen und zuverlässigen Lieferfähigkeit bleibt, haben wir natürlich nichts dagegen.“ Gute Aussichten also für Kalibriermaschinenhersteller wie CEH. ■

Felix Herrmann

ist Produktmanager bei der Wittenstein galaxie GmbH

Kontakt:
Wittenstein SE
97999 Igersheim
info@wittenstein.de
www.wittenstein.de

bewegen



spannen



heben



PNEUMATIC-BAUSTEIN

Pneumatic-Baustein mit Kugelführung
oder als Schlittenführung mit Spindel



Bild 1: Bei der Entwicklung der neuen Hochleistungsenergiekette TKHP hat das Unternehmen erstmals 3D-Druck und 3D-Scan durchgängig kombiniert. Bild: Tsubaki Kabelschlepp

Entwicklung von Hochleistungsenergieketten

Additive Fertigung beschleunigt Entwicklungsprozesse

Nachhaltigkeit bedeutet das Einsparen von Energie oder den Einsatz von Recyclingmaterial – aber nicht nur. Ein Hersteller von Energieketten nutzt Additive Fertigung und 3D-Scanning, um Musterteile in kurzer Zeit herzustellen und Testphasen schneller zu durchlaufen. Das Verfahren ist als Ergänzung der klassischen Spritzgussverfahren gedacht und beschleunigt Entwicklungsprozesse.

Tsubaki Kabelschlepp erprobt die Möglichkeiten der Additiven Fertigung in seinen Produkten und Entwicklungsprozessen. Peter Pütz, Vice President Marketing & Innovation: „Die additive Fertigung spielt für uns eine große Rolle, weil wir damit wahnsinnig viel Zeit sparen können.“ Außerdem spart das Unternehmen Ressourcen und hat neue Möglichkeiten, seine Produkte zu testen. Daran gekoppelt ist das 3D-Scanning ein weiteres wichtiges Thema für Tsubaki Kabelschlepp.

Der deutlichste Hebel der beiden Techniken zeigte sich bei der Entwicklung der neuen Hochleistungsenergiekette TKHP. Erstmals hat das Unternehmen dabei 3D-Druck und 3D-Scan durchgängig kombiniert – mit spürbaren Effekten auf Tempo, Materialeinsatz und Wirtschaft-

lichkeit. „Wir haben die beide Serien TKHP 85 und TKHP 90 parallel in weniger als sechs Monaten entwickelt. Normalerweise dauert das deutlich länger“, berichtet Pütz. Möglich wurde das, weil gedruckte Muster bereits in sehr frühen Phasen mechanisch belastet, zusammengefügt und im realen Einbauzustand getestet werden konnten. Passungen, Rastmechanismen und Biegeradien ließen sich ohne Werkzeuganpassung iterieren, bis das System harmonisch funktionierte.

Ein weiterer Beschleuniger war der 3D-Scan. Statt jede Optimierungsstufe mit aufwendigen taktilen Messreihen zu verifizieren, wurden die ersten Muster vollständig gescannt und automatisch mit den CAD-Sollgeometrien überlagert. Abweichungen markiert das System unmittelbar. „Kunststoff schrumpft, wölbt sich und verhält sich an kritischen Stellen nicht

immer so, wie es die Theorie verspricht“, erläutert Pütz. „Mit dem Scan sehen wir das sofort.“ Die Zahl der Korrekturzyklen sank dadurch von acht bis neun auf nur noch vier. Parallel dazu wurde Material gespart, weil weniger Zwischenstufen als physische Muster und keine Werkzeuganpassungen nötig waren.

In der Serie bleibt der Spritzguss bei der TKHP das Verfahren der Wahl. Additiv gefertigte Komponenten kommen ausschließlich dort zum Einsatz, wo sie bei gleicher Qualität funktional oder wirtschaftlich einen Mehrwert bieten.

Wie stark die Additive Fertigung Kommunikation und Entscheidungsfindung verbessert, zeigt ein aktuelles Projekt im Bereich Landstrom. Tsubaki Kabelschlepp konnte an dieser Stelle einen Auftrag gewinnen, weil dem Kunden die Lösung als 3D-gedrucktes Muster vorgestellt wurde.

Das kundenspezifische Kabelführungssystem entstand im Dialog, basierend auf schnell gedruckten Iterationen. „Der Kunde sieht früh, was später geliefert wird, und kann Änderungen unmittelbar anstoßen“, fasst Pütz die Vorteile zusammen. „Für uns reduziert sich das technische und wirtschaftliche Risiko, da Machbarkeit, Montagefolge und Belastbarkeit schon vor dem Werkzeugbau abgesichert werden.“ So schließt sich der Kreis zur Nachhaltigkeit: Entscheidungswege werden kürzer, Fehlinvestitionen vermieden, und am Ende entsteht genau das, was gebraucht wird.

Ist Additive Fertigung „per se“ nachhaltiger als Spritzguss? Eine pauschale Antwort darauf gibt es nicht. Für Tsubaki Kabelschlepp zählt die Gesamtrechnung aus Zeit, Ressourcen und Qualität:

- **Zeit als Nachhaltigkeitsfaktor:** Entwicklungszeit bedeutet auch Energie- und Materialverbrauch. Wenn marktreife Lösungen in Monaten statt Jahren erreicht werden, sinken Iterationschleifen, Transportwege für Muster und der Aufwand in begleitenden Prüfprogrammen.



Bild 2: Die Energiekette ist mit patentierter Rollendämpfung, sowie mit patentierten Roll- und Gleitflächen ausgestattet. Bild: Tsubaki Kabelschlepp

- **Weniger Abfall:** Mit den pulverbettbasierten SLS-Verfahren, das Tsubaki Kabelschlepp einsetzt, fallen so gut wie keine Pulverreste an; nicht versintertes Material wird erneut verwendet. Stützstrukturen entfallen.
- **Werkzeugbau reduzieren:** Werkzeugbau ist energie- und materialintensiv. Wird ein Werkzeug nicht benötigt –



Bild 3: Beim 3D-Scanning werden erste Muster vollständig gescannt und automatisch mit den CAD-Solldaten verglichen. Bild: Tsubaki Kabelschlepp

etwa bei Kleinserien, Anlaufmustern oder Sonderlösungen – spart additive Fertigung signifikant Ressourcen.

- **Anwendungsgrenzen respektieren:** Der 3D-Druck wird kurz- und mittelfristig den Spritzguss nicht ablösen. Kunststoffeigenschaften, Stückzahlen, Oberflächenanforderungen oder Zyklenzeiten sprechen in der Serie oft weiterhin für den Spritzguss.

Auch in punkto Wirtschaftlichkeit kann die Additive Fertigung eine Alternative sein. „Für Teile mit moderaten Stückzahlen stellt sich immer die Frage: Lohnt ein Spritzgusswerkzeug?“, erläutert Pütz. Bereits einfache Werkzeuge schlagen schnell mit 100.000 bis 200.000 Euro zu Buche. Im 3D-Druck entfällt diese Hürde. Um Werkzeugkosten zu sparen, denkt man auch über hybride Ansätze nach: einfache Spritzgusswerkzeuge könnten aus speziellen Hochleistungskunststoffen additiv hergestellt werden. Für Prototypen-Spritzguss und kleine Losgrößen ergeben sich so gute Lösungen. „Teile, die mit einem Werkzeug aus dem 3D-Drucker gespritzt werden, sind schon heute äußerst präzise, können aber nicht in hoher Auflage hergestellt werden“, beschreibt Pütz Möglichkeiten und Grenzen. „Für Prototypen und Pilotserien wäre das Verfahren jedoch hervorragend geeignet.“ ■

ADDITIVE FERTIGUNG ALS CONTAINERLÖSUNG

Damit die neue Technik nicht „irgendwo im Raum“ steht, hat Tsubaki Kabelschlepp seine Additive Fertigung als Containerlösung organisiert. Drucker, Aufbereitungsanlage und Peripherie sind in einem klimatisierten Allwettercontainer zusammengefasst, der wie eine Spritzgussmaschine verwaltet wird – inklusive Anbindung an das ERP-System. So sind Aufträge sauber planbar, Rückverfolgbarkeit und Kalkulation identisch zu den etablierten Fertigungslinien.

Die Lösung ist bewusst mobil gedacht. Weil das Unternehmen sein Fabriklayout kontinuierlich weiterentwickelt, kann der Container innerhalb des Werks versetzt oder – temporär – im Außenbereich betrieben werden. Das erleichtert die Integration in Materialfluss und Logistik, ohne bauliche Hürden zu erzeugen. Die Kapazitäten sind ausreichend für Muster, Vor- und Kleinserien sowie projektspezifische Komponenten wie Zugentlastungsblöcke. Wichtig ist nicht die maximale Stückzahl, sondern die verlässliche, dokumentierte Qualität – und die hohe Reaktionsgeschwindigkeit in Entwicklungs- und Kundenprojekten.



Containerlösung: Drucker, Aufbereitungsanlage und Peripherie sind in einem Allwettercontainer zusammengefasst, der wie eine Spritzgussmaschine verwaltet wird – inklusive Anbindung an das ERP-System. Bild: Tsubaki Kabelschlepp

Kontakt

Tsubaki Kabelschlepp GmbH
 57482 Wenden-Gerlingen
 info@kabelschlepp.de
 www.kabelschlepp.de



Bild 1: Fast Steering Mirrors sind mikromechatronische Miniatur-Kippspiegel, die dem schnellen und präzisen Umlenken von Licht- beziehungsweise Laserstrahlen dienen. Bild: Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG

Hochdynamisches optisch-mechanisches System

Höchste Präzision für Satellitenkommunikation und High-End-Optik-Systeme

Fast Steering Mirrors sind leichte und robuste mikromechatronische Kippspiegel-Systeme, optimiert für die optische Kommunikation über weite Strecken. Mit dem Verkappen eines Spiegels in zwei Achsen ermöglichen sie das dynamische Umlenken von Licht, insbesondere Laserstrahlen. Sie kombinieren dabei Sensorik mit Sub-Mikroradiant-Auflösung und schnelle Aktoren für Echtzeit-Korrekturen in geschlossenen Regelkreisen. Eine neue Serie wurde initial für die Anforderungen im Weltraum konzipiert, insbesondere für New-Space-Projekte. Darüber hinaus profitieren jedoch auch terrestrische, industrielle Applikationen wie die Bildstabilisierung oder das Laser-Dicing in der Halbleiterproduktion von den technischen Möglichkeiten der Serie.

TEXT: M. Behringer

Fast Steering Mirrors (FSM) vereinen verschiedene Bauteile wie Mechanik, Sensoren mit Elektronik sowie Aktuatoren in einem äußerst kleinen Gehäuse mit kleiner

Masse von etwa 55 g und gutem Übertragungsverhalten. Darunter versteht man bei FSM die Frequenz, mit der der Spiegel einer Sollbewegung zuverlässig folgen kann, bevor mechanische Moden, Verluste oder Phasenverzerrung die Bewegung limitieren.

Im Weltall treten neben Vakuum-Umgebungen auch Strahlung sowie extreme Temperaturunterschiede auf, welche auf den FSM wirken. Auch starken Vibrationen und Schockbelastungen, beispielsweise beim Start von Raketen oder dem Aus-

setzen der Satelliten, müssen die FSM standhalten. Diese Bedingungen stellen hohe Anforderungen an die Elektronik und Mechanik. Außer auf Sauberkeit im Allgemeinen liegt ein besonderer Fokus auf der Partikelfreiheit, bekannt unter dem Stichwort Foreign Object Debris (FOD). Außerdem müssen Zinnauswüchse, sogenannte Zinn-Whisker, vermieden werden, weil ihr Treiben in der Schwerelosigkeit zu Kurzschlüssen führen könnte.

Um die langfristige Funktion der empfindlichen Optiken in den Spiegeln nicht zu beeinträchtigen, sind insbesondere ausgasungsarme Werkstoffe im Vakuum gefordert. Eine niedrige Leistungsaufnahme und Abwärme sowie eine hohe elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) sind beim Verwenden in Satelliten Grundvoraussetzungen. Viele dieser Eigenschaften beherrscht Micro-Epsilon aus seiner langjährigen Erfahrung in der Halbleiterindustrie und konnte diese Kompetenzen auf den New-Space-Bereich übertragen. Zudem meistert das Unternehmen den Spagat aus Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit, die sich im New-Space-Bereich an der industriellen Produktion orientieren – ganz im Gegensatz zum Old-Space-Sektor, wo die Kosten meist keine Rolle spielen.

Funktionsprinzip und technische Details

Die gängigsten FSM lassen sich entweder über Piezoaktoren oder Elektromagneten steuern. Piezoaktoren sind sehr präzise und schnell, weisen jedoch lediglich einen kleinen Stellweg auf. Micro-Epsilon setzt daher auf das elektromagnetische Antriebskonzept, das einen größeren Stellweg ermöglicht und die FSM robuster gegen raue Bedingungen macht. Mit den Randbedingungen für Satellitenapplikationen ergab sich als Optimum ein maximaler nominaler Kippwinkel von $\pm 1,5^\circ$. Dieser ist ausreichend, um große Bereiche des Alls nach anderen Satelliten schnell abzuscannen, aber klein genug, um Positionen sehr genau zu regeln. Größere Bewegungen werden zumeist von einem vergleichsweise langsamen Gimbal-System mit Teleskopoptik bedient, welches den FSM zur Feinsteuerung integriert.

Die Bewegung des Spiegels erfolgt bei der FSM3000-Serie über vier Aktor-Spulen, von denen jeweils zwei in Serie eine Drehachse definieren, um einen Push-Pull-Betrieb zu ermöglichen. Speist man

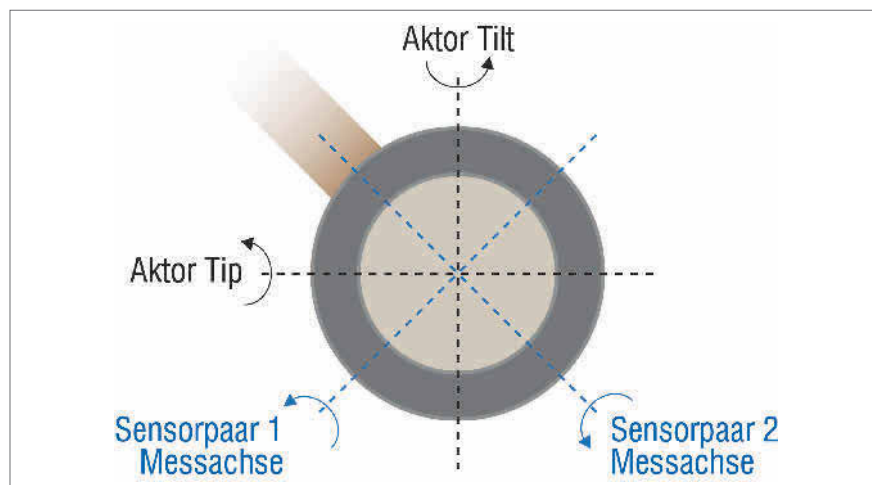


Bild 2: Die Bewegung des Spiegels erfolgt bei der FSM3000-Serie von Micro-Epsilon über vier Aktor-Spulen, von denen jeweils zwei in Serie eine Drehachse definieren. Grafik: Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG

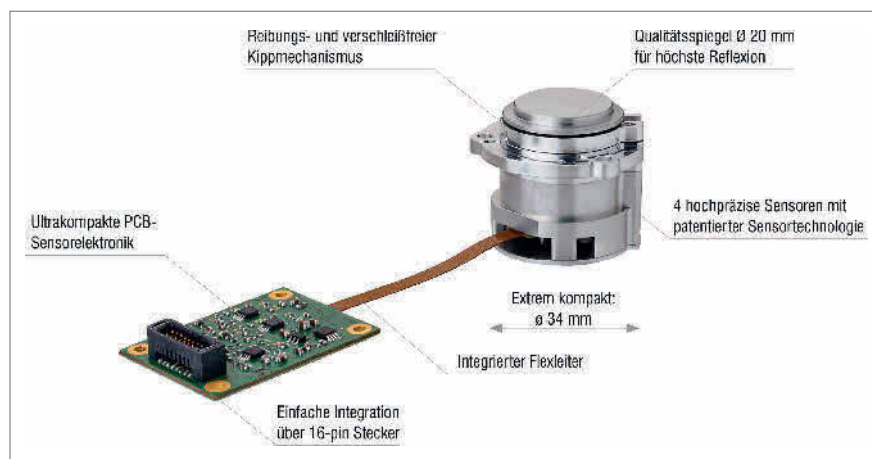


Bild 3: FSM3000 lenken Licht nahezu verlustfrei und bei geringer Eigenenerwärmung um. Dafür sorgt der hochwertige Spiegel, der bezüglich seines Durchmessers und des Oberflächenfehlers optimiert ist. Bild: Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG

die Spulen mit Strom, so bildet sich ein Magnetfeld, welches ein Drehmoment erzeugt und den Spiegel um seine Drehachse neigt – auch als Tip/Tilt-Funktion bezeichnet. Dabei erfolgt die Drehung verschleißfrei und synchron über einen zentralen Drehpunkt, das Rückstellen in den Nullpunkt erfolgt über Federelemente. Der Aktuator arbeitet effizient und nimmt lediglich etwa 115 mW Leistung bei statischer Vollausslenkung auf.

Für den dynamischen Dauerbetrieb empfiehlt Micro-Epsilon eine maximale Aktorleistung von 1 W. Damit lässt sich die nominale Verkippung von $1,5^\circ$ dauerhaft bis 200 Hz und etwa $\pm 0,06^\circ$ bei 1,5 kHz erreichen. Zudem zeigt das Open-Loop-Diagramm keine störenden Moden unter 2 kHz bei einer Kipp-Resonanz um circa 75 Hz und ist somit sehr leicht zu regeln.

Den Kippwinkel des Spiegels bestimmt Micro-Epsilon über vier Wirbelstromsensoren. Sie eignen sich aufgrund ihrer hohen Bandbreite und Auflösung bei niedriger Leistungsaufnahme und kompakter Elektronik ideal für den Einsatz in FSM. Hinzu kommt die langjährige Kernexpertise des Unternehmens bei dieser Technik.

Anwender sehen am Positionsausgang der Sensoren pro Sensorachse ein analoges differenzielles Signal von maximal je ± 5 V. Ohne Auslenkung liegen die beiden Positionsausgänge bei 0 V. Ist der Kippspiegel beispielsweise an der jeweiligen Sensorachse um $1,5^\circ$ ausgelenkt, stehen in positiver und negativer Richtung nominal ± 4 V an. Ein weiterer Sensor ermittelt zudem die Temperatur im FSM. Daraus lässt sich der Kippwinkel mathematisch sehr präzise und äußerst temperaturstabil ermitteln. Der Sollwert wird im Anschluss



Bild 4: Beim sogenannten Dicing löst ein Laser einzelne Chips aus einem Verbund heraus. Das Ausschneiden der feinen Chip-Kontur erfolgt aufgrund der hohen Kippfrequenz und Präzision mithilfe des FSM3000. Bild: Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG



Bild 5: Die Fast Steering Mirror kommen auch zur Bildstabilisierung zum Einsatz. Dabei unterstützen sie das Ausgleichen der Objektivbewegungen, sodass jede Einzelaufnahme im Quasi-Stillstand erfolgen kann. Bild: Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG

über einen nutzerseitigen Regelkreis durch Ansteuern der Aktoren umgesetzt und der Spiegel entsprechend positioniert.

Prädestiniert für die optische Kommunikation

Fast Steering Mirrors der Serie FSM3000 sind demnach prädestiniert für die optische Kommunikation. Sie zeichnen sich durch einen großen Bewegungsbereich bei gleichzeitig kurzer Reaktionszeit aus. Aufgrund der hohen Dynamik mit einem sehr guten Regelverhalten bis 1,5 kHz eignen

sie sich für Applikationen wie Laser-Kommunikation in Satelliten, indem sie Licht nahezu verlustfrei und bei niedriger Eigenenerwärmung umlenken.

Dafür sorgt der hochwertige Spiegel, der bezüglich seines Durchmessers und des Oberflächenfehlers optimiert ist. Bei einem Durchmesser von 20 mm weist er minimierte Montagetoleranzen auf, die sich auch bei Temperaturschwankungen kaum ändern. Je nach geforderter Wellenlänge des Lichts oder Lasers kann das Unternehmen verschiedene Beschichtungen anbieten, als Standard für 1550 nm mit

einer Reflektivität über 99,3%. Beim Herstellen achtet Micro-Epsilon auf die Vermeidung von Kratzern und Digs, um unnötiges Streulicht zu vermeiden. Damit ist sichergestellt, dass der gelenkte Laserstrahl nicht verzerrt oder streut und nicht zu viel Leistung am Spiegel in Wärme umgesetzt wird. Laserleistungen bis 40 W sind dabei kein Problem.

Fast Steering Mirrors der Serie FSM3000 sind leicht zu integrieren und enorm belastbar. Auch ohne das Verwenden eines Launch-Locks ist der Raketenstart kein Problem und die Spiegel arbeiten im Weltraum und Vakuum äußerst zuverlässig und stabil. Wie im Messprinzip beschrieben, lässt sich der Kippwinkel, der für das Regeln des Signals benötigt wird, aus den Ausgangssignalen einfach berechnen.

Für jeden FSM3000 werden die benötigten Koeffizienten bei der Produktion spezifisch ermittelt und dem Nutzer zum einfachen Einbinden über Protokolle wie XML oder Json bereitgestellt.

Neben der optischen Kommunikation lassen sich mit den Systemen viele hochauflösende Positionierungen mit einer geforderten Auflösung von $< 0,3 \mu\text{rad}$ oder $1,72 \times 10^{-5}^\circ$ durchführen.

Anpassungen an individuelle Anwendung möglich

Micro-Epsilon bietet mit der FSM3000-Serie eine serienoptimierte Basis für OEM-Applikationen in großen Stückzahlen. Aufgrund modernster Techniken und spezialisierter Fertigungsprozesse setzt das Unternehmen wirtschaftliche Gesamtlösungen um, auch bei sehr hohen Anforderungen. Typische OEM-Anpassungen umfassen beispielsweise den Spiegeldurchmesser oder die -beschichtung, Formfaktoren der Sensorelektronik oder des mechanischen Interfaces, die Wahl zwischen verbleitem und unverbleitem Lot sowie Leiterplattenschutzlack – bis hin zum Entwickeln der Regelungs- und Leistungselektronik.

Außer den kompletten Kippspiegel-Systemen bietet Micro-Epsilon spezielle Sensorsysteme zum hochpräzisen Messen der Spiegelverkipfung an. Diese Systeme nutzen vier Wirbelstromsensoren mit optimierter Auflösung und Grenzfrequenz. Die Vierkanal-Sensorsysteme werden direkt integriert – entweder als Stand-alone-Version oder in bestehende FSM-Systeme – und kommen besonders bei

großen Spiegeln oder speziellen Positionierungsanforderungen zum Einsatz.

Einsatz in der Satellitenkommunikation

Satellitenbasierte Datenübertragungen erfolgen heute per Funk oder mittels Laser. Eine Mechanik übernimmt das Nachführen des Laserstrahls, um ihn präzise auf das Ziel auszurichten. Im Strahlengang des Satelliten sitzt der FSM3000 im Herzen des Laser-Communication-Terminals und hilft bei der Suche nach benachbarten Satelliten oder hält den Kontakt aufrecht, indem er kleinste Abweichungen der Ausrichtung im Mikroradian-Bereich korrigiert. Er gleicht damit Vibrationen, Turbulenzen und Bewegungen in Echtzeit aus. Dadurch bleibt der Laserstrahl immer stabil auf den Kommunikationspartner ausgerichtet und kann Datenraten im Gigabit-Bereich über tausende Kilometer übertragen. So werden mit den FSM von Micro Epsilon Laserstrahlen im Low-Earth-Orbit über tausende Kilometer und bei Geschwindigkeiten bis zu 25 000 km/h geleitet, um eine sichere Satelliten-Kommunikation aufzubauen. Auch für den Mid-Earth-Orbit sind die FSM3000 äußerst robust konstruiert und arbeiten stets präzise und zuverlässig.

Auch in der Elektronikproduktion kommen Fast Steering Mirrors zum Einsatz, um beispielsweise einen Laserstrahl zum Vereinzeln von gerade produzierten Halbleiter-ICs umzulenken. Beim sogenannten „Dicing“ löst dabei ein Laser die einzelnen Chips aus einem Verbund heraus. Dabei unterstützt der FSM3000 das Ausschneiden der feinen Chip-Kontur mit seiner hohen Kippfrequenz und Präzision. Das schnelle Reagieren des FSM kompensiert Vibrationen, Ungenauigkeiten im Handling oder kleine Abweichungen im Wafer. Dadurch erreicht man ein hochpräzises, sauberes Trennen der Chips ohne Schäden und maximiert die Prozessgeschwindigkeit der Halbleiterproduktion.

Scharfe Bilder bei schnellen Bewegungen

Ein weiterer Anwendungsfall, den der FSM3000 ermöglicht, ist die industrielle Bildstabilisierung. Zur schnellen Bildgebung müssen Objektive während der Bewegung möglichst stabil bleiben, um scharfe Bilder zu erzeugen. Fast Steering Mirrors unterstützen das Ausgleichen der Objektbewegungen, sodass jede Einzelaufnahme im Quasi-Stillstand erfolgen kann. Der FSM sitzt dabei im Strahlengang der Optik und kann den Spiegel mi-

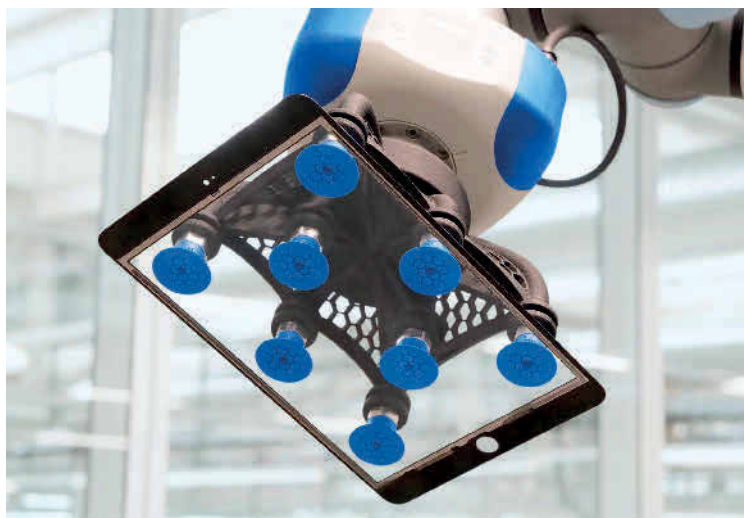
kro- bis milliradiangenau kippen. Sensoren erfassen die aktuellen Bewegungen der Kamera oder des Bildes – der FSM reagiert sehr schnell auf die Abweichungen und korrigiert den Strahl oder das Bildfeld. So bleiben die aufgenommenen Bilder ruhig und scharf, selbst wenn sich das System bewegt. Insbesondere die feine Ausrichtung und schnelle Reaktion des FSM sind dabei von Vorteil.

Fazit: Fast Steering Mirrors von Micro-Epsilon sind hochpräzise, robuste Systeme, die eine schnelle Laser-Kommunikation unter anderem im Weltall ermöglichen. Außerdem können sie für Positionsmessungen in Branchen wie der Halbleiterindustrie zum Einsatz kommen. Die hohen Kippwinkel bei gleichzeitig hoher Messfrequenz sowie die sehr hohe Auflösung prädestinieren die FSM für umfangreiche Einsatzbereiche – vom Orbit bis in die Halbleiterfabrik. ■

Markus Behringer, PhD

Produktmanager Sensorik
Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG
94496 Ortenburg
Tel. (0 85 42) 1 68 – 4 98
Markus.Behringer@micro-epsilon.de
www.micro-epsilon.de

Vorschau 6-2026



Elektrische Vakuum-Erzeugung verbessert die Energieeffizienz wegen der automatischen Anpassung der Saugleistung. Bild: J. Schmalz GmbH

Greiferlösungen

Modulare Fabriken oder mobile Robotik verändern die Automatisierung. In vielen Fällen tut sich dadurch eine Alternative zu klassischen Druckluftsystemen auf: elektrische Vakuum-Erzeugung, die neue Freiheitsgrade eröffnet. Sie ermöglicht autarke Greiflösungen und reduziert Energieverluste.

Technische Mechanik

Struktur- oder Integralschaumstoffe mit ihrem geschäumten Kern haben eine vergleichsweise geringe Schubsteifigkeit. Für die Auslegung derartiger inhomogen aufgebauter Leichtbaustrukturen wird ein analytisches Modell vorgestellt. Es basiert auf einem Potenzansatz für die symmetrisch angenommene Verteilung der Werkstoffsteifigkeit im zelligen Kern.

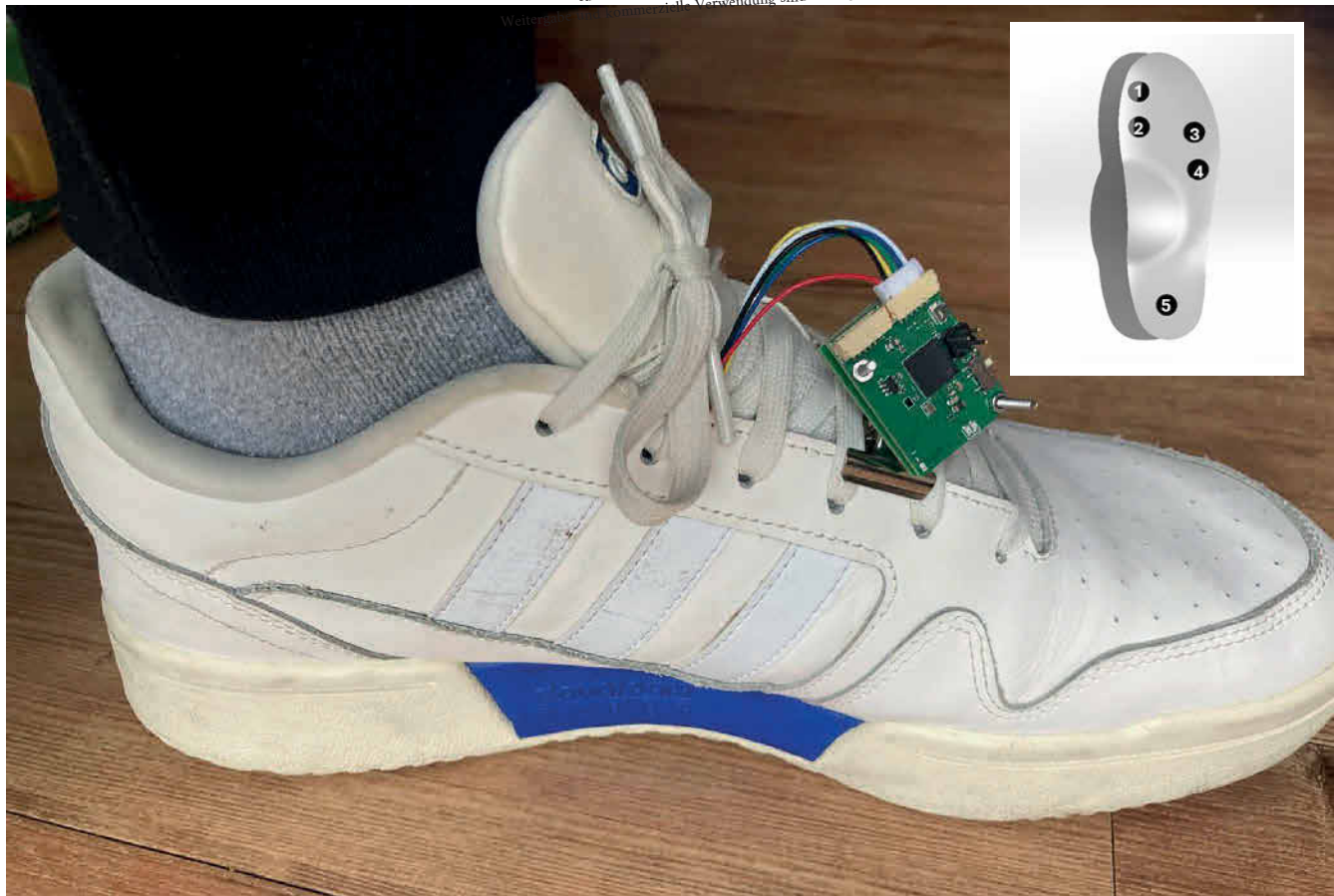


Bild 1: Gesamtsystem mit dem Platzierungsmodell der Sensorik. Bild: HS Osnabrück

Konzept für ein Frühwarnsystem zur Diabetesprävention

Drucksensitive Einlegesohle zur kontinuierlichen Gangüberwachung

Für Diabetiker sind unbemerkte Fehlbelastungen am Fuß ein hohes Gesundheitsrisiko. Bestehende Messsysteme sind jedoch oft teuer und auf Labore beschränkt. In diesem Projekt wurde eine kostengünstige, drucksensitive Einlegesohle entwickelt, die mittels fünf strategisch platzierter Sensorknoten und einer kompakten Auswerteelektronik eine lückenlose Überwachung im Alltag ermöglicht.

TEXT: M. Kampe, J. Schäfer

Um ein solches mobiles Messsystem erfolgreich umzusetzen, mussten drei Herausforderungen gelöst werden: die Integration einer robusten flachen Sensorik in die Sohle, der Entwurf einer kompakten Auswerteelektronik sowie die Implementierung einer Software-Logik zur Datenverarbeitung. Die Realisierung erfolgte in einem schrittweisen

Prozess, der die mechanischen Anforderungen des Gehens mit der notwendigen elektronischen Messpräzision vereint.

Die sensorische Erfassung basiert auf fünf diskreten Messpunkten, die an den biomechanisch relevanten Zonen – Ferse, Lateraler Vorfuß, Kleinzehenballen, Großzehenballen sowie der Großzehe positioniert sind (Bild 1). Als Sensormaterial dient das drucksensitive Polymer Velostat, welches aufgrund seiner Flexibilität und

Kosteneffizienz gewählt wurde. Um die Sensorik vor mechanischem Abrieb und Feuchtigkeit zu schützen, sind die Messpunkte in einem Sandwich-Verfahren zwischen zwei textilen Deckschichten eingebettet. Die elektrische Kontaktierung erfolgt über flachgeführte Leitungen, die seitlich aus der Sohle herausgeführt werden. Dies ermöglicht eine mechanisch entkoppelte Anbindung an die externe Auswerteelektronik über kompakte Steck-

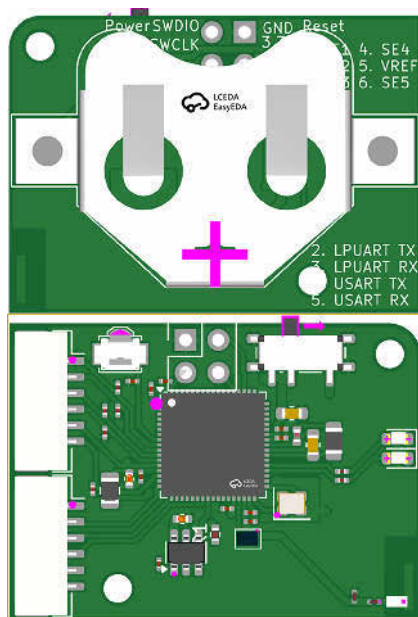


Bild 2: Die Aufnahme und Verarbeitung der Sensordaten erfolgt auf einer eigens entwickelten Platine. Bild: HS Osnabrück

verbinder, ohne den Tragekomfort im Schuh zu beeinträchtigen.

Das Herzstück der Hardware bildet eine eigens entwickelte, kompakte Platine für die Aufnahme und Vorverarbeitung der analogen Sensorsignale (Bild 2). Die Schaltung basiert auf einem Mikrocontroller, der die Widerstandsänderungen der Velostat-Sensoren erfasst. Weil das Sensormaterial seinen elektrischen Widerstand druckabhängig ändert, wurde eine Spannungsteiler-Schaltung implementiert, um die Änderungen in messbare Spannungen zu wandeln. Diese werden anschließend über die fünf analogen Eingangskanäle ausgelesen und digitalisiert. Um eine kontinuierliche und zeitlich präzise Überwachung des Gangbildes zu gewährleisten, wird die Datenaufnahme mit einer Frequenz von 100 Hz getaktet. Ein interner Timer triggert dazu alle 10 ms die Messwertaufnahme, wobei die Daten direkt vom DMA in einen Pufferspeicher geschrieben werden. Dieses Verfahren entlastet die CPU und stellt sicher, dass die aktuellen Belastungswerte lückenlos für die anschließende Auswertungslogik zur Verfügung stehen. Die Energieversorgung erfolgt über eine 3-V-Knopfzelle.

Die Messdaten werden per Bluetooth an ein externes Gerät übertragen und dort ausgewertet. Dabei werden die Rohdaten in ein strukturiertes Format überführt und einer robusten Schritterkennung unterzogen. Mit sensor-spezifischen Schwellen-

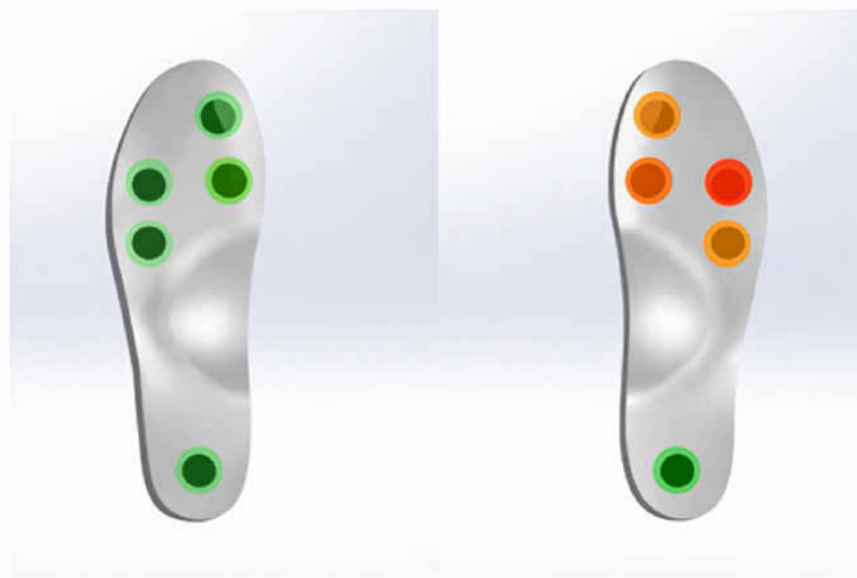
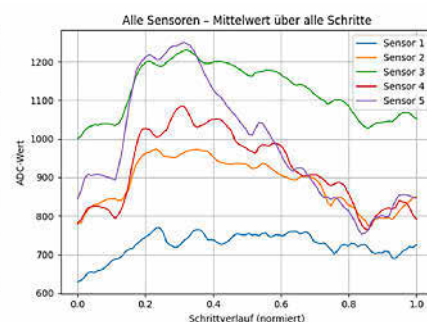
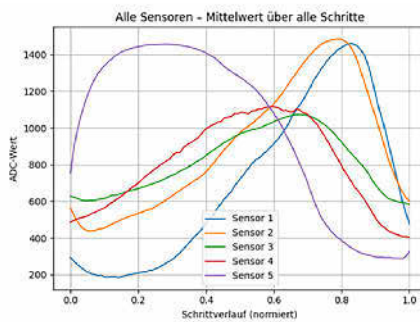


Bild 3: Ergebnisse einer Ganganalyse mit Humpeln. Bild: HS Osnabrück

werten detektiert der Algorithmus den Kontaktstatus jedes Messpunktes, um präzise zwischen Stand- und Schwungphase zu unterscheiden.

Um eine statistische Vergleichbarkeit der einzelnen Sensoren zu gewährleisten, werden die extrahierten Intervalle interpoliert und auf eine einheitliche Datenlänge normiert. Dies ermöglicht das Berechnen eines repräsentativen Mittelwertganges. Die biomechanische Bewertung erfolgt über eine Integralanalyse: Über das Druck-Zeit-Integral wird die Gesamtbelastung ermittelt und der prozentuale Anteil der einzelnen Sensorpunkte an der Abrollbewegung berechnet. Die Visualisierung für den Anwender erfolgt in Form von Belastungsdiagrammen und Heatmaps, die pathologische Abweichungen im Gangbild erkennbar machen (Bild 3).

Die Ergebnisse des Projekts belegen, dass eine medizinisch relevante Überwachung der plantaren Druckverteilung mit einem kostengünstigen und konstruktiv einfachen gehaltenen System möglich ist. Der voll funktionsfähige Prototyp identifiziert zuverlässig signifikante Unterschiede

im Gangbild und bildet eine valide technische Grundlage für ein zukünftiges Frühwarnsystem zur Diabetesprävention.

Zum Überführen in ein marktreifes Produkt müssen unter anderem die Langzeitstabilität weiter erforscht sowie die Alltagstauglichkeit verbessert werden. Ein weiterer Aspekt ist die Validierung der Recyclingfähigkeit. Dies wird unter anderem im Projekt „ReSiST-AR“ untersucht (gefördert durch Mittel des Landes Niedersachsen und des europäischen Fonds für regionale Entwicklung). ■

Moritz Kampe, ist Absolvent im Studiengang Maschinenbau der Hochschule Osnabrück

Prof. Dr.-Ing.
Jens Schäfer
ist dort Professor für Produktentwicklung

Hochschule Osnabrück
Labor für Produktentwicklung und CAE
49076 Osnabrück

Kontakt:
moritz.kampe@hs-osnabrueck.de
jens.schaefer@hs-osnabrueck.de



Bild 1: Tamper-Matte mit integriertem Kraftsensor und LED-Anzeige beim Erreichen des optimalen Tamper-Druckes. Bild: Angst+Pfister

Integriertes Sensorsystem

Sensorische Funktionalisierung von Materialien

Wird Sensorik funktional in ein Elastomer eingebettet, kann das Material selbst die Rolle des Sensors übernehmen. Die Kraftmessung erfolgt über eine in das elastomere Grundmaterial vollständig einvulkanisierte Messzelle. Belastung führt zu einer Verformung, die als Messsignal ausgewertet werden kann. Die Messdaten aus der Sensorik werden intern aufbereitet und über eine digitale Schnittstelle bereitgestellt.

TEXT: R. Ellinger

In modernen Industriefeldern steigt der Bedarf, mechanische und dynamische Zustandsgrößen direkt im Bauteil oder Material zu erfassen, anstatt diese über diskrete, nachträglich montierte Sensoren abzuleiten. Klassische Sensorkonzepte erfordern häufig zusätzliche Gehäuse, mechanische Kopplungen oder Schutzmaßnahmen, was Systemkomplexität und Schnittstellen erhöht. Die vorgestellten

Sensing Materialien verfolgen daher einen integrativen Ansatz: Die Sensorik wird funktional in ein Elastomer eingebettet und das Material selbst übernimmt die Rolle des Sensors.

Die Kraftmessung erfolgt über eine in das elastomere Grundmaterial vollständig einvulkanisierte Messzelle. Das zugrunde liegende Wirkprinzip basiert auf der Änderung eines elektrischen Feldparameters infolge mechanischer Verformung. Das

Sensorelement nutzt eine integrierte Mehrschichtarchitektur, bei der mechanisch induzierte Strukturänderungen in eine proportionale Änderung eines elektrischen Ausgangssignals überführt werden. Wird das Material belastet, führt die elastische Verformung zu einer geometrischen Veränderung der internen Struktur. Diese bewirkt eine proportionale Änderung der elektrischen Kenngröße, die als Messsignal ausgewertet wird.

Das Messprinzip eignet sich insbesondere für flächige und verteilte Lasten, da die Krafteinleitung nicht punktuell, sondern homogen über das gesamte Sensorelement erfolgt. Aufgrund der kleinen Bauhöhe der integrierten Messstruktur ergeben sich hohe Freiheitsgrade beim Gestalten des Sensing Materials hinsichtlich Geometrie, Abmessungen und messbarem Lastbereich.

Ergänzend zur Kraftmessung ist das Sensing Material mit inertialer Sensorik ausgestattet. Ein integrierter Beschleunigungssensor erfasst lineare Beschleunigungen und ermöglicht die Detektion von Vibrationen, Schwingungen sowie Stoßereignissen. Die daraus gewonnenen Signale liefern wertvolle Informationen über dynamische Belastungen, Betriebszustände oder unerwünschte Schwingungsanregungen.

Optional kann zusätzlich ein Gyroskopsensor integriert werden, der Winkelgeschwindigkeiten misst und damit Aussagen über Neigung, Rotation sowie die räumliche Ausrichtung des Sensing Materials erlaubt. Die Kombination aus Beschleunigungs- und Drehratensensorik ermöglicht eine umfassende inertiale Zustandsbeschreibung. Dadurch lassen sich sowohl statische als auch dynamische Bewegungen erfassen, beispielsweise Schiefstellungen, rotatorische Bewegungen oder hochfrequente Vibrationen.

Vulkanisierte Sensorintegration im Elastomer

Ein zentrales technisches Merkmal des Sensing Materials ist die vollständige Vulkanisierung der Sensorik in das Elastomer. Die Messzelle, der Beschleunigungssensor, der Gyroskopsensor sowie die zugehörige Elektronik sind dauerhaft in die elastomere Matrix eingebettet. Es entsteht eine monolithische, geschlossene Struktur ohne offene Sensorelemente oder freiliegende Leiterbahnen. Die elektrische Anbindung an die Auswerteelektronik des Kunden kann entweder durch einen integrierten Stecker oder durch eine integrierte Leitung geschehen. Mit der integrierten Leitung kann eine hohe IP-Schutzklasse erreicht werden.

Diese Bauweise gewährleistet eine definierte und reproduzierbare mechanische Kopplung zwischen Material und Sensorik. Gleichzeitig übernimmt das Elastomer eine dämpfende Funktion und schützt die Sensoren zuverlässig vor Feuchtigkeit,



Bild 2: Sehr dünner Kraftsensor zum Erfassen der elastischen Verformung. Bild: Angst+Pfister

Schmutz und mechanischen Überlasten. Das Sensing Material ist dadurch wasserdicht, unempfindlich gegenüber Umwelteinflüssen und einfach zu reinigen. Ein-vulkanisierte Sensoren bieten im Vergleich zu diskreten Sensorelementen signifikante Vorteile. Die vollständige Einkapselung sorgt für hohe Langzeitstabilität, weil Korrosion, Verschmutzung oder mechanischer Verschleiß ausgeschlossen sind.

Darüber hinaus ermöglicht die elastomerbasierte Einbettung eine gezielte Dämpfung von Vibrationen und Stoßbelastungen, was sowohl die Lebensdauer der Sensorik als auch die Qualität der Messsignale verbessert. Wartungs- und Reinigungsaufwand werden deutlich reduziert, was insbesondere für Anwendungen mit hohen hygienischen oder umweltbedingten Anforderungen relevant ist.

Die Messdaten aus Kraft-, Beschleunigungs- und Gyroskopsensorik werden intern aufbereitet und über eine digitale Schnittstelle bereitgestellt. Diese standardisierte Schnittstelle erleichtert die Integration in bestehende Steuerungs- und Auswertesysteme und ermöglicht eine synchrone Erfassung mehrerer Messgrößen.

Anwendungen des Sensing Materials

Das Sensing Material eignet sich für eine Vielzahl industrieller Anwendungen. Ein Beispiel ist die Lastmessung in Nutzfahrzeugen wie Lkw oder Traktoren. Dort kann das Elastomer als lasttragendes Element eingesetzt werden, das die aufgebrachte Last erfasst. Gleichzeitig wirkt das Elastomer als mechanischer Dämpfer, der Vibrationen aus dem Fahrbetrieb reduziert und die Sensorik vor Wasser, Schmutz und mechanischer Beschädigung schützt.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel ist eine Tamper-Matte für die Espresso-Zubereitung. In dieser Anwendung stellt das

Sensing Material sicher, dass das Kaffee-pulver stets mit der gleichen Kraft angepresst wird. Unabhängig vom Bedienpersonal wird so eine gleichmäßige Kompression erreicht, was zu einer konstanten Extraktion und einem reproduzierbaren Geschmack führt.

Als drittes Beispiel kann ein Dämpfungselement genannt werden, das außer seiner primären mechanischen Funktion gleichzeitig Vibrationen misst. Aufgrund der Kombination von Dämpfung und Sensorik lassen sich Schwingungszustände direkt im Bauteil erfassen, ohne zusätzliche Sensoren montieren zu müssen.

Sensorik lässt sich an Anwendung anpassen

Das Sensing Material ist hochgradig kundenspezifisch auslegbar. Geometrie, Elastomerhärte, Kraftmessbereich, Sensorbestückung und zusätzliche Features können an die jeweilige Applikation angepasst werden. Dadurch lassen sich maßgeschneiderte Lösungen realisieren, die mechanische Funktion und Sensorik in einem einzigen Bauteil vereinen.

Das vorgestellte Sensing Material zeigt, wie durch die konsequente Integration von Kraftsensorik, Beschleunigungs- und Gyroskopsensorik in ein Elastomer robuste, langzeitstabile und reinigbare Sensorsysteme entstehen. Die ein-vulkanisierte Bauweise ermöglicht eine enge Kopplung von Material und Sensorik und eröffnet neue Möglichkeiten für kundenspezifische, integrierte Messlösungen in der industriellen Sensor- und Messtechnik. ■

Robin Ellinger

Produktmanager Temperatur- und Drucksensoren
Angst+Pfister Sensors and Power AG
CH-8152 Glattbrugg
robin.ellinger@angst-pfister.com

AMA Innovationspreis 2026

Hohe Innovationsbreite

Der AMA Verband für Sensorik und Messtechnik hat drei junge Unternehmen für den AMA Innovationspreis 2026 nominiert. Alle drei Finalisten werden mit dem Sonderpreis ‚Junges Unternehmen‘ ausgezeichnet und sind zugleich für den Hauptpreis nominiert. Die Zahl qualifizierter Einreichungen junger Unternehmen in diesem Jahr unterstreicht die hohe Innovationsdynamik in der Sensorik und Messtechnik.



Auf den Seiten des AMA Verbandes steht eine Übersicht über alle Bewerbungen zum Download zur Verfügung. Bild: AMA

Insgesamt 13 Forscher- und Entwicklerteams aus dem In- und Ausland reichten ihre Projekte ein. Besonders bemerkenswert: Neun Bewerbungen stammen von Unternehmen, die weniger als fünf Jahre am Markt sind, unter 50 Mitarbeitende beschäftigen und einen Jahresumsatz von unter zehn Millionen Euro erzielen. Diese Entwicklung weist die ausgeprägte Gründungsimpulse und Innovationskraft der Branche aus.

Drei junge Unternehmen überzeugten die Jury:

- Coher Sense UG (haftungsbeschränkt), Lübeck: Kisa – Das Multimeter für Laser.
- Metubiq GmbH, Kassel und Universität Kassel: Vibrationsimmune Inline-Weißlichtinterferometrie für die Fertigung.



Prof. Dr. Klaus Stefan Drese: „Die diesjährigen Einreichungen haben uns vor eine anspruchsvolle Auswahl gestellt. Die Innovationsbreite und -tiefe war außergewöhnlich hoch.“ Bild: AMA

- Moldsonics GmbH, Linz (Österreich): Ultraschallbasierte Inline-Sensorplattform für Kunststoffprozesse.

Eine Beschreibung der drei Innovationen finden Sie auf den folgenden Seiten.

Alle drei Nominierten erhalten als Sonderpreis ‚Junges Unternehmen‘ einen kostenfreien Messeauftritt auf der Sensor+Test 2026 in Nürnberg und konkurrieren zugleich um den AMA Innovationspreis 2026, der mit 10.000 Euro dotiert ist.

„Die diesjährigen Einreichungen haben uns vor eine anspruchsvolle Auswahl gestellt. Die Innovationsbreite und -tiefe war außergewöhnlich hoch“, erklärt Prof. Dr. Klaus Stefan Drese, Juryvorsitzender vom Institut für Sensor- und Aktortechnik der Hochschule Coburg. „Besonders

erfreulich ist die starke Beteiligung junger Unternehmen. Sie belegt eindrucksvoll, wie dynamisch sich die Sensorik und Messtechnik entwickelt und wie konsequent neue Ideen in marktfähige Lösungen überführt werden.“

Die Bekanntgabe der Preisträger erfolgt am 9. Juni 2026 im Rahmen der Eröffnungsveranstaltung der Sensor+Test 2026 in Nürnberg. ■

AUF EINEN BLICK:

Messe: Sensor + Test 2026

Ort: Messezentrum Nürnberg

Termin: 9. bis 11. Juni 2026

Öffnungszeiten: 9 bis 17 Uhr

Kongresse:

- 23. ITG/GMA-Fachtagung Sensoren und Messsysteme 2026
- European Test and Telemetry Conference ETTC 2026

Veranstalter:

AMA Service GmbH

31515 Wunstorf

info@sensor-test.com

www.sensor-test.com

Kontakt

AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e.V.

14059 Berlin

info@ama-sensorik.de

www.ama-sensorik.de

Kompaktes Interferometer

Multimeter für Laser

Mit Kisa-Sensoren lässt sich die Wellenlänge einfallenden Lichts und gleichzeitig die optische Leistung bestimmen. Ziel sind Anwendungen, in denen Laserzustände kontinuierlich überwacht werden müssen. Im Vordergrund der Entwicklung stand nicht die maximale Präzision, sondern die Verknüpfung von ausreichender Präzision mit Industrietauglichkeit - also hohe Robustheit, einfache Integration und Skalierbarkeit.

Die Entwicklung der Kisa-Sensoren (Kompakt Interferometer für Spektrale Anwendungen, Eigenschreibweise: KISA) basiert auf der Übertragung eines Diagnostikprinzips aus der Fusionsforschung in ein kompaktes, industrietaugliches Sensorsystem. In der Plasmadiagnostik wurde Coherence Imaging-Spektroskopie genutzt, um hochpräzise spektrale Informationen von Plasmen unter extremen Bedingungen zu erfassen. Diese Erfahrungen bildeten die Grundlage für die Idee, interferometrische Verfahren in deutlich vereinfachter und robuster Form für die Laserdiagnostik nutzbar zu machen.

Ein wesentlicher Impuls kam aus der industriellen Praxis: Die Arbeit in einem führenden US-Unternehmen für kompakte Spektroskopiesysteme zeigte, dass die Reduktion der Messtechnik auf das für die Anwendung notwendige Minimum durchaus relevante Marktmöglichkeiten bietet. Häufig sind Lösungen, die zwar höchste Präzision bieten, zu groß, kostenintensiv oder im täglichen Einsatz nicht praktisch handhabbar. Insbesondere bei wachsender Systemkomplexität bei zeitgleichem Skalierungsbedarf der Anwendung wird deutlich, dass klassische Laborinstrumente an ihre Grenzen stoßen. Gefordert sind kompakte, robuste und kontinuierlich einsetzbare Diagnoselösungen.

Kern: Polarisationsabhängige Interferenzeffekte in doppelbrechenden Materialien

Genau dort setzen Kisa-Sensoren an. Im Kern basiert die Technik auf der Ausnutzung polarisationsabhängiger Interferenzeffekte in doppelbrechenden Materialien. Durch die gezielte Auslegung ei-



Vergleich zwischen einem typischen Laborsystem und dem Kisa (Kompakt Interferometer für Spektrale Anwendungen). Bild: Coher Sense

nes doppelbrechenden Elements entstehen phasenverschobene Signale, aus denen sich die Wellenlänge des einfallenden Lichts präzise bestimmen lässt. Gleichzeitig kann die optische Leistung erfasst werden; in erweiterten Konfigurationen ist auch die Bestimmung der spektralen Breite möglich.

Im Unterschied zu klassischen Wellenlängenmessgeräten kommt man so ohne bewegliche Teile und ohne aufwendige Justage aus. Die Architektur ist inhärent robust gegen Vibrationen und Umwelteinflüssen und lässt sich sowohl in Laboraufbauten als auch in industrielle Systeme integrieren. Damit wird Laserdiagnostik von einem spezialisierten Laborwerkzeug zu einem breit einsetzbaren Sensorsystem weiterentwickelt.

Die Innovation liegt weniger in der maximal erreichbaren Präzision als vielmehr in der Kombination aus ausreichender Auflösung, hoher Robustheit, einfacher Integration und wirtschaftlicher Skalierbarkeit. Dies eröffnet neue Anwendungen in denen Laserzustände kontinuierlich überwacht werden müssen – von der Prozessanalytik über laser-basierte optische Messtechnik bis hin zur Quantentechnik. ■

Kontakt

Dr. Oliver Lischtschenko
Coher Sense UG (haftungsbeschränkt)
23562 Lübeck
info@cohersense.de
<https://cohersense.de/>



Bei der vibrationsimmunen Inline-Weißlichtinterferometrie erfasst ein interferometrischer Distanzsensor die Relativbewegung zwischen Messsystem und Bauteil in Echtzeit. Bild: Metubiq

Vibrationsimmune Inline-Weißlichtinterferometrie

Messen in der Fertigung

Hochpräzise Oberflächenmessung im Nanometerbereich ist in vielen Hightech-Branchen unverzichtbar. Interferometrische Messverfahren liefern extrem genaue Ergebnisse, sie reagieren aber empfindlich auf Vibrationen. Deshalb werden sie bislang meist nur fernab der eigentlichen Fertigung eingesetzt. Das neue System umgeht dieses Problem, in dem es diese Bewegungen einfach mit erfasst. Mit den gewonnenen Informationen werden die eigentlichen Messdaten nachträglich korrigiert – das Ergebnis ist eine präzise Oberflächenmessung trotz Vibrationen.

Die interferometrische Oberflächenmesstechnik zählt mit Auflösungen im Nanometerbereich zu den präzise- sten Verfahren zur dreidimensionalen Charakterisierung von Bauteiloberflächen. Insbesondere die Weißlichtinterferometrie hat sich aufgrund ihrer hohen axialen Auflösung und Robustheit gegenüber kohärenten Störeinflüssen als Standard in der Präzisionsmesstechnik etabliert. Ihr Einsatz ist jedoch bislang weitgehend auf Laborumgebungen oder separierte Messstationen beschränkt, weil selbst geringe mechanische Schwingungen zu erheblichen Messfehlern führen können.

Kombination aus Weißlichtinterferometrie und interferometrischem Distanzsensor

Die von der Metubiq GmbH (i.G.) in Zusammenarbeit mit der Universität Kassel entwickelte Innovation adressiert genau diese Einschränkung. Ziel ist die direkte Integration interferometrischer Messtechnik in industrielle Fertigungsprozesse – ohne aufwendige Schwingungsisolierung.

Der zentrale Ansatz basiert auf einer neuartigen Kombination aus Weißlichtinterferometrie und einem integrierten interferometrischen Distanzsensor (IDS), der die Relativbewegung zwischen Messsystem und Objekt während des Messvorgangs hochdynamisch erfasst.

Im Gegensatz zu konventionellen Systemen, bei denen Vibrationen das Interferenzsignal unkontrolliert überlagern, ermöglicht das zusätzliche Erfassen der Bewegung eine nachträgliche, algorithmische Korrektur der Messdaten. Dadurch kann das ursprünglich durch Schwingungen verfälschte Interferogramm rekonstruiert werden. Die Methode erlaubt es, die hohe

Messgenauigkeit der Weißlichtinterferometrie auch unter realen Produktionsbedingungen aufrechtzuerhalten.

Interferometrische Messtechnik direkt in die Fertigung integrieren

Ein wesentlicher Vorteil liegt in der Möglichkeit zur Inline-Integration, weil direkt in der Fertigungsmaschine oder unmittelbar im Prozessumfeld gemessen werden kann. Dadurch entfällt der bisher notwendige Transfer von Werkstücken zwischen Bearbeitungs- und Messsystemen, was Zeit spart und Referenzierungsfehler vermeidet. Gleichzeitig eröffnet die Technik die Perspektive einer kontinuierlichen, prozessnahen Qualitätssicherung sowie einer datenbasierten Regelung von Fertigungsprozessen. Für die industrielle Praxis bedeutet das: kürzere Prozesszeiten, weniger Ausschuss und eine deutlich effizientere Fertigung.

Die entwickelte Lösung stellt damit einen entscheidenden Schritt in Richtung einer durchgängig integrierten, hochpräzisen Messtechnik dar und leistet einen wichtigen Beitrag zur Digitalisierung und Automatisierung moderner Fertigungsprozesse. ■

Kontakt

Hüseyin Serbes
Universität Kassel
FB16 Elektrotechnik/Informatik
Fachgebiet Messtechnik
34121 Kassel
info@metubiq.com
<https://metubiq.de/>

Kunststoffprozesse mit Ultraschall überwachen

Inline-Sensorplattform

Beim Herstellen von Kunststoffbauteilen entziehen sich viele Vorgänge der direkten Beobachtung. Die neue Sensorplattform nutzt Ultraschallsignale, die sich im Werkzeugstahl ausbreiten und an Materialgrenzen reflektiert werden. Gemessen wird durch den Werkzeugstahl, ohne direkten Kontakt zur Kunststoffschmelze. Die Auswertung der reflektierten Signale ermöglicht eine Beurteilung - und damit auch Steuerung - des Prozesses.

Die Herstellung von Kunststoffbauteilen – etwa im Spritzgießen oder in der Extrusion – läuft unter extremen Bedingungen ab: hohe Drücke, hohe Temperaturen und sehr schnelle Prozessabläufe. Gleichzeitig sind viele entscheidende Vorgänge im Inneren des Spritzgießwerkzeugs oder der Maschine nicht direkt sichtbar. In der Praxis bedeutet das: Prozesse werden oft auf Basis von Erfahrung, indirekten Messgrößen oder Sicherheitszuschlägen gesteuert.

Ultraschallimpulse gezielt aussenden und auswerten

Genau an dieser Stelle setzt die von Moldsonics entwickelte ultraschallbasierte Sensorplattform an. Sie nutzt die gezielte Aussendung und Auswertung von Ultraschallimpulsen, die sich im Werkzeugstahl ausbreiten und an Materialgrenzen reflektiert werden. Die Messung erfolgt dabei durch den Werkzeugstahl hindurch – also ohne direkten Kontakt mit der Kunststoffschmelze.

Sobald sich der Zustand im Prozess ändert, verändert sich auch das reflektierte Signal. So kann beispielsweise erkannt werden, wann die Kunststoffschmelze einen bestimmten Bereich im Spritzgießwerkzeug erreicht oder wann das Bauteil ausreichend abgekühlt ist. Damit werden erstmals Prozesszustände sichtbar, die bisher nicht direkt messbar waren.

Im Spritzgießen ermöglicht dies eine präzisere Steuerung der Kühlzeit des produzierten Kunststoffformteils. Statt mit festen Sicherheitsreserven zu arbeiten, kann der Prozess an den tatsächlichen Zustand angepasst werden. Das reduziert Zykluszeiten und Energieverbrauch, gleichzeitig bleibt die Bauteilqualität stabil.



Ultraschallbasierte Inline-Sensorplattform für Kunststoffprozesse. Bild: Moldsonics

Auch in der Extrusion eröffnet die Technik neue Möglichkeiten: Der Verschleiß von Plastifizierschnecke und -zylinder kann während des laufenden Betriebs überwacht werden. Bisher war dafür meist ein Stillstand und eine Demontage notwendig. Die kontinuierliche Messung erlaubt nun eine zustandsbasierte Wartung und vermeidet ungeplante Ausfälle.

Einfache Integration durch direkten Einbau in den Stahl

Ein wesentlicher Vorteil der Lösung liegt in der einfachen Integration. Die Sensoren werden in den Stahl eingebaut und haben keinen direkten Kontakt zur Schmelze. Dadurch entfallen aufwendige Anpassungen und mögliche Schwachstellen im Prozess. Die Ultraschallsensoren sind für den industriellen Einsatz bei Temperaturen bis zu 300 °C ausgelegt.

Die Technik macht den tatsächlichen Zustand im Kunststoffprozess in Echtzeit sichtbar. Das schafft die Grundlage für stabile Prozesse, weniger Ausschuss und eine effiziente Produktion. ■

Kontakt

Dr. Bernhard Praher
Moldsonics GmbH
4020 Linz, Österreich
Tel. (00 43 680) 1 74 63 97
info@moldsonics.at
www.moldsonics.com

Neue Funktionen für zuverlässiges Getriebedesign

Mit Version 11.0.0 erweitert die FVA-Workbench der FVA GmbH ihr Leistungsportfolio um neue Funktionen zur Modellierung und Berechnung von Getriebesystemen. Die Software ermöglicht den Angaben zufolge eine noch präzisere und effizientere Auslegung komplexer Antriebssysteme und steht ab sofort zur Verfügung. Neue Funktionen im Überblick:

- Rotating-Rainflow-Berechnung: Realitätsnahe Schadensbewertung bei Schaltvorgängen

Mit dem neuen Berechnungsmodul können laut FVA sogenannte Rotating-Rainflow-Matrizen berücksichtigt und daraus Pseudo-Beanspruchungszeitverläufe an lokalen Auswertepunkten synthetisiert werden. Im Gegensatz zur Verwendung dedizierter Lastfälle lassen sich auf diese Weise auch aus Schaltvorgängen resultierende Schwingspiele und die daraus entstehenden Beanspruchungen in der Schadensakkumulation berücksichtigen.

- Wälzschälen: Präzisere Auslegung prozessgeprägter Verzahnungen

Wälzschälen ist ein kontinuierliches Hochleistungsverfahren zur Herstellung von Innen- und Außenverzahnungen, dessen Kinematik auf einem Schraubradgetriebe basiert. Werkzeug und Werkstück sind um einen Achskreuzwinkel verkippt und wälzen miteinander ab. Dafür wurden die Fertigungsverfahren zur Profilerzeugung von Stirnrädern um das Wälzschälen mit dem neuen Werkzeugtyp „Wälzschäler“ erweitert.

Auf Basis der durch Wälzschälen erzeugten Verzahnungsgeometrien können sowohl Flanken- und Fußnormtragfähigkeiten als auch eine 3D-Kontaktanalyse berechnet werden.

- Universelles lokales Reibmodell: Genauere Verlustleistung und Kontaktanalyse

Im Rahmen der Forschungsprojektreihe FVA 998 wurde in Zusammenarbeit mit dem MEGT (Lehrstuhl für Maschinenelemente, Getriebe und Tribologie) der RPTU in der FVA-Workbench ein universelles Kontaktreibungsmodell implementiert. Damit steht dem Anwender in der FVA-Workbench nun ein hochwertiges, physikalisches, lokal aufgelöstes Kontaktreibungsmodell zur Verfügung, mit dem genauere Aussagen zur lastabhängigen Verlustleistungsbe-



Mit der Version 11.0.0 erweitert die FVA-Workbench ihr Leistungsportfolio um neue Funktionen zur Modellierung und Berechnung von Getriebesystemen. Bild: FVA

rechnung von Wälzlageren getroffen werden können. Darüber hinaus erlaubt es einen tieferen Einblick in die Kontaktverhältnisse und mögliche Schadensmechanismen, heißt es weiter.

- Berechnung von Planetenradgleitlagern: Effizientere Auslegung für Windkraft

Dieses neue Berechnungsmodul ist spezialisiert auf Planetenradlager, insbesondere mit Blick auf Anwendungen in Windkraftanlagen. Die Planetenradgleitlagerberechnung (Combros PG) basiert auf einem stehenden Bolzen mit Ölversorgung auf der Innenseite und dem rotierenden Planetenrad auf der Außenseite. Das Modul setzt auf einen effizienten thermo-elasto-hydrodynamischen Berechnungsansatz und wurde sowohl experimentell als auch theoretisch durch das ITR (Institut für Tribologie und Energiewandlungsmaschinen) der TU Clausthal validiert. Es ist laut FVA konsequent auf Planetenlager spezialisiert und berücksichtigt in der Berechnungsvariante Combros PG-FEM die elastischen Verformungen von Bolzen und Planetenrad mithilfe entsprechender FE-Strukturen.

www.fva-service.de

Ansteuerung von 120 Motorrollen mit einer IP-Adresse

Mit dem Ethernet-G20-Steuersystem können bis zu 120 24-V- und 48-V-Motorrollen flexibel über nur eine einzige IP-Adresse angesteuert werden. Wie Pepperl + Fuchs mitteilt, spannt der G20-Controller dafür bis zu vier Linien auf, an die jeweils bis zu 15 G20-Motorrollenmodule angeschlossen werden und welche wiederum Anschlüsse für bis zu zwei Motorrollen bieten. Dabei erfolgt die Adressierung aller Motormodule völlig automatisiert, heißt es weiter.

Um weitere Ressourcen in der Steuerung einzusparen könne für jedes Motormodul individuell entschieden werden, ob dieses zentral aus der Steuerung oder autark im dezentralen ZPA-Modus betrieben wird. Unabhängig vom ausgewählten Betriebsmodus stehen detaillierte Diagnosedaten der Module wie Stromaufnahme oder Betriebszeit pro Motorrolle jederzeit zur Verfügung, führt das Unternehmen aus.

Unterstützt werden die gängigen Feldbusprotokolle Profinet und Ether-Net/IP in einem Gerät, wobei eine nahtlose IIoT-Kommunikati-



Ethernet-G20-Motorrollen-Steuersystem. Bild: Pepperl + Fuchs

on durch die integrierte Rest API und OPC UA ermöglicht wird. Mit dem Steuersystem bietet das Unternehmen eine optimale Lösung für modernen Fördertechnikanlagen.

www.pepperl-fuchs.com/de-de

Elektromechanische Antriebe ab Losgröße 1

Mit Industrial Powerrise vom Typ IPR40 stellt Stabilus nach eigenen Angaben elektromechanische Antriebe nach Maß zur Verfügung. Mit der Option Customized to Order können Kunden die Aktuatoren genau ihren Anwendungen entsprechend spezifisch konfigurieren lassen. Damit bietet das Unternehmen die Antriebe nun für industrielle Applikationen bereits ab Losgröße 1 passend an.

Konstrukteure, die im Standardsortiment der Aktuatoren des Unternehmens nicht fündig werden, erhalten auf Anfrage eine Individuallösung. Dabei begleiten je nach Anwendung entweder Ingenieure von Stabilus oder von den Expertenmarken ACE Stoßdämpfer GmbH oder Hahn Gasfedern GmbH die Interessenten von der Auslegung bis zur Inbetriebnahme.

Die elektromechanischen Spindelantriebe vom Typ IPR40 sind laut Stabilus sowohl von den Anschlüssen her als auch hinsichtlich der Ausgangskräfte, Hublängen und Geschwindigkeiten kundenspezifisch präzise variierbar. Sie nehmen wenig Bauraum ein und werden je nach Bedarf für 12-V- oder 24-V-Stromversorgung sowie in



Elektromechanische Antriebe Industrial Powerrise IPR40. Bild: Stabilus

wasserfester IP67-Ausführung ausgeliefert. Zudem lassen sie sich bei Anwendungen, in denen höhere Massen zu bewegen und steuern sind, mit Industriegasfedern aus der Stabilus-Gruppe kombinieren, heißt es. Zu den Dienstleistungen, welche diese individuell angepasste Antriebslösung

begleiten, gehören Auslegung, Konfiguration und Inbetriebnahme, auf Wunsch vor Ort, einschließlich aller Einstellungen und Parametrierungen der elektronischen Teereinheiten (ECU), führt das Unternehmen aus. www.group.stabilus.com

Mehr Sicherheit in der Cloud

Akytec (Eigenschreibweise: akYtec) hat für seine kostenlose Cloud-Lösung eine Reihe wichtiger Updates angekündigt, mit der Cybersicherheit, Benutzerverwaltung und Integrationsmöglichkeiten weiter verbessert werden. Auch der Zugang werde einfacher: So sei die Registrierung und Anmeldung bei Akytec Cloud über ein Google-Konto möglich, ohne separate Zugangsdaten anlegen zu müssen. Mit Akytec-Cloud können Nutzer angeschlossene Geräte und Systeme aus der Ferne überwachen und steuern, als wären sie direkt vor Ort. Zum Umfang gehören Werkzeuge zur Visualisierung von Prozessen, beispielsweise mnemonische Diagramme, Grafiken, Tabellen, Berichte und eine Bibliothek mit animierten Symbolen.

Um den Schutz der Konten zu verbessern und modernen Cybersicherheitsanforderungen gerecht zu werden, unterstützt Akytec-Cloud den Angaben zufolge ab sofort die Zwei-Faktor-Authentifizierung (2FA). Darüber hinaus ermögliche es eine neue aktive Sitzungsüberwachung, auf anderen Geräten laufende Sitzungen einzusehen und zu beenden – für mehr Kontrolle und Schutz vor unbefugtem Zugriff.

Das Rollensystem wurde um die Rolle „Kontoinhaber“ ergänzt, die eine klarere Zuordnung von Verantwortlichkeiten innerhalb von Organisationen ermöglicht und die sichere Übertragung von Kontorechten erleichtert. Administratoren erhalten detaillierte Aktivitätsprotokolle, die sich zur Prüfung und Analyse im CSV-Format exportieren lassen, führt Akytec aus.

Auch die Berichterstellung und der Datenexport sind demnach verbessert worden: So lassen sich Berichtsdatendateien und Systemprotokolle exportieren und in interne Dokumentationen, Analysetools oder externe Systeme integrieren. Die neuen Funktionen ergänzen die bereits bestehenden Datenexportfunktionen der Web-Scada-Umgebung sowie die Möglichkeit, gespeicherte Messwerte der letzten 90 Tage im XLSX-Format herunterzuladen. www.akytec.de

EINSCHLAG- + ANSCHWEISSMUTTERN

FLANSCHMUTTERN

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

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

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

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



Bild 1: Die neue DIN 72036 ermöglicht den Übergang von der manuellen Leitungssatzfertigung zur automatisierten Fertigung. Bild: Telsonic

Die Zukunft der automatisierten Leitungssatzfertigung

DIN 72036 schafft klare Designrichtlinien

Bislang war die Produktion von Leitungssätzen weitgehend Handarbeit – vor allem, weil es an einheitlichen Standards fehlte. Nun steht die Automobilindustrie vor einem entscheidenden Wandel: Mit der neuen DIN 72036 wird die automatisierte Fertigung von Leitungssätzen erstmals möglich. Die Norm definiert klare Designrichtlinien und Anforderungen für Materialien, Komponenten- und Leitungssatzdesign sowie Datenformate. Das erleichtert die Zusammenarbeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette und gibt Unternehmen Investitionssicherheit für die Einführung neuer Techniken.

TEXT: N. Crocoll, A. Homburg

Das Erstellen von Normen ist ein komplexer, langwieriger Prozess, bei dem die Anforderungen aller von der Norm Betroffenen verstanden und abgeglichen werden müssen. Als Spezialist für Ultraschallschweißen bringt das Unter-

nehmen Telsonic sein technisches Know-how aktiv in die Entwicklungsarbeit der Norm DIN 72036 ein.

Das Schweizer Unternehmen ist Teil der Standardisierungsinitiative Leitungssatz (SILS), die die Norm unter juristischer Begleitung entwickelt hat. Jürgen Reinert, technischer Berater bei Telsonic,

ist Teil des Teams. Der studierte Elektroingenieur hat während seiner beruflichen Laufbahn in verschiedenen Bereichen der Wertschöpfungskette der Steckverbinder- und Leitungssatzindustrie umfangreiche Erfahrungen gesammelt und stellt den Experten fürs Ultraschallschweißen als Berater sein

umfangreiches Know-how zur Verfügung.

Klare Vorgaben vermeiden Kommunikationsproblem

Reinert erklärt: „Wir sind sehr daran interessiert, Innovationen mit voranzutreiben, indem wir uns an strategischen Netzwerken beteiligen. Schließlich ist der Nutzen für die Anwender unserer Technologie durch den höheren Automatisierungsgrad immens. Zudem profitieren sie von der Investitionssicherheit, die eine Normierung mit sich bringt.“

Wenn an einem Prozess viele Parteien beteiligt sind, kommt es ohne klare Vorgaben an den Schnittstellen zu Kommunikationsschwierigkeiten. Allein die Medienbrüche hemmen Innovationen und haben Auswirkungen auf Effizienz, Fehleranfälligkeit und Geschwindigkeit. Ein zentrales Element der Norm ist daher die Definition von rund 60 Designrichtlinien, die Anforderungen an Materialien, Leitungssatz- und Komponentendesign sowie Prozesse festlegen. In der zweiten Ausgabe der Norm werden weitere Bereiche ergänzt, zum Beispiel Hochvolt- und Hochfrequenzanwendungen, Gestaltungsrichtlinien erweitert und Anforderungen an Datenformate definiert. Ziel ist es, bis Ende 2026 einen durchgängigen, digital unterstützten und automatisierten Produktionsprozess zu ermöglichen. Telsonic begleitet den gesamten Prozess als Technologieexperte fürs Ultraschallschweißen von Beginn an bis hin zum Erstellen der dritten Ausgabe der Norm.

Ziel: mehr Effizienz, Qualität und Nachhaltigkeit

Die Vorteile der neuen Norm sind vielfältig: Sie ermöglicht nicht nur die Automatisierung, sondern verbessert auch Effizienz, Qualität und Nachhaltigkeit der Produktion. Aufgrund einheitlicher Daten und definierter Prozesse werden Fehler reduziert und Innovationen beschleunigt sowie digitale Zwillinge und Rückverfolgbarkeit möglich. Dieser neue Standard macht die vollständige Prozessrückverfolgbarkeit zu einer zentralen Anforderung.

Die Telsonic Technologieplattform Telso-Assist liefert bereits die intelligenten, digitalen Daten, die für das Erstellen digitaler Zwillinge und eine nahtlose Qualitätskontrolle notwendig sind (Bild 2).



Bild 2: Die Plattform Telso-Assist liefert die digitalen Daten für das Erstellen digitaler Zwillinge und eine nahtlose Qualitätskontrolle. Bild: Telsonic



Bild 3: Die Power-Wheel-Technik bringt die Schweißkraft punktgenau ein. Bild: Telsonic

Auch die Anforderungen des Lieferkettengesetzes lassen sich mit der DIN 72036 leichter erfüllen. Besonders kleine und mittlere Unternehmen profitieren von den neuen Marktchancen. Reinert ergänzt: „Insgesamt schafft die Norm für alle Beteiligten die so dringend notwendigen Voraussetzungen, den Leitungssatz automatisiert zu fertigen und von all den damit einhergehenden Vorteilen zu profitieren.“

Ultraschallschweißen als technischer Enabler

Die Verbindungstechnik spielt bei der Herstellung von Leitungssätzen eine zen-

trale Rolle. Während das Crimpen ein wichtiger Standard ist, gewinnt das Ultraschallschweißen zunehmend an Bedeutung – insbesondere bei neuen Materialien wie Aluminium oder bei dicken Kupferleitungen, wie sie in modernen Fahrzeugen und der Elektromobilität eingesetzt werden. Zudem sind die per Ultraschallschweißen hergestellten Verbindungen deutlich robuster und langlebiger, weil bedingt durch die Technik eine stoffschlüssige Verbindung entsteht. In rauen Umgebungsbedingungen wie im Fahrzeug ist das von großem Vorteil.

Telsonic hat mit der Power-Wheel-Technik eine Lösung entwickelt, die durch

wiegende Abrollbewegungen direkt über der Füge­stelle eine punktgenaue Krafteinleitung ermöglicht (Bild 3). So lassen sich Kupferleitungen mit einem Gesamtquerschnitt > 200 mm² zuverlässig verschweißen. Integrierte Weg- und Kraftmessungen sorgen für eine lückenlose Dokumentation und höchste Prozesssicherheit.

Die Norm ist das Ergebnis intensiver Zusammenarbeit verschiedener Partner. Sie entstand im Rahmen der Arena 2036. Diese wiederum ist einer von neun vom BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) geförderten Forschungscampus in Deutschland. Ihr Auftrag besteht darin, durch interdisziplinäre Kooperation zur technischen Souveränität in

Schlüssel­techniken beizutragen – insbesondere in der Automobilproduktion. Für die SILS-Initiative bedeutet dies, dass am Prozess verschiedene Akteure beteiligt sind wie Automobilhersteller, Zulieferer, Technologieanbieter und Wissenschaftler. Die Experten fürs Ultraschallschweißen bringen jahrzehntelange Erfahrung ins Netzwerk mit ein und sorgen so dafür, dass die Norm den realen Anforderungen der Branche entspricht.

AUF EINEN BLICK: DIN 72036

Seit 2022 arbeiteten OEMs und führende Unternehmen aus dem Automobil Zulieferer Bereich im Rahmen der SILS (Standardisierungsinitiative Leitungssatz) unter dem Dach der Arena 2036 an der DIN 72036. Alle Branchen sind vertreten – vom Maschinenbau über Hersteller von Kabeln, Kontaktierungssystemen und Komponenten, bis hin zu den Konfektionären.

Gegenstand der DIN 72036 ist die Definition von GRs (Gestaltungsrichtlinien) um die automatisierte Leitungssatzfertigung zu ermöglichen/zu fördern. Das Werk besteht aus verbindlichen Regeln und Empfehlungen für das Design der Komponenten, des Leitungssatzes und der

Verarbeitungstechnik. Diese werden in den Fachgremien (Teilprojekte) anhand realer Anwendungsfälle, auch unter Einbeziehung der üblichen Datenformate wie KBL und VEC, erarbeitet. Die GRs betreffen das gesamte Fahrzeugbordnetz, Teilefamilien, einzelne Leitungssätze oder Teilleitungssätze. Für die automatisierte Fertigung von Leitungssätzen werden die GRs zusätzlich unter den Gesichtspunkten Optimierung der Varianten, Prozess ertüchtigen und Verbesserung des Produktes klassifiziert.

So wurden in der ersten Ausgabe der DIN 7203:2024-06 60 grundlegende GRs genormt. In der zweiten Ausgabe konnten die Regeln vertieft werden, neue GRs für den wichtigen Hochvoltbereich sowie erste Grundlagen für die HF Technik (Daten) definiert werden. Hinzugekommen ist darüber hinaus die Bewertung des Grades der Normkonformität DDA. Die Ergebnisse mit insgesamt 88 Regeln stehen in Form der zweiten Ausgabe DIN 72036:2026-04 zur Verfügung

An der dritten Ausgabe wird aktuell gearbeitet, in ihr geht es um die Modularisierung von Leitungssätzen, die digitale Beschreibung von Komponenten und Prozessen und die Integration prozessrelevanter Daten. Sie wird voraussichtlich im Jahr 2027 erscheinen. (Jürgen Reinert)



Jürgen Reinert, technischer Berater bei Telsonic.
 Bild: Telsonic

Entscheidender Schritt für die Zukunftsfähigkeit

Mit der DIN 72036 ist also ein entscheidender Schritt für die Zukunftsfähigkeit der deutschen und europäischen Automobilindustrie getan. Dank des Engagements verschiedener Partner wird die Leitungssatzfertigung effizienter, flexibler und nachhaltiger. Die Norm schafft die Voraussetzungen für Innovationen, neue Geschäftsmodelle und eine starke Wettbewerbsposition im internationalen Markt. Jürgen Reinert resümiert: „Die Anlagen von Telsonic mussten für die DIN 72036 kaum angepasst werden. Wir liefern bereits heute alle geforderten Qualitätsdaten und ermöglichen so eine nahtlose Integration in automatisierte Prozesse. Die Norm ist ein Meilenstein für die Branche und ein großer Schritt in Richtung Digitalisierung und Nachhaltigkeit.“ ■

Dipl.-Ing. (FH)
Nora Crocoll
 und Dipl.-Wirt. Ing.
Alex Homburg,
 beide Redaktionsbüro Stutensee

Kontakt:
 Telsonic AG
 CH-9552 Bronschhofen
 info@telsonic.com
 www.telsonic.com

Industrielle Prozesse sicher automatisieren

Automatisierung des Greifer- und Werkzeugwechsels

Automatische Schnellwechselsysteme können Rüstzeiten verkürzen und Betrieben dabei helfen, ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen. Damit dies im praktischen Einsatz auch gelingt, müssen die Systeme mit bestimmten Eigenschaften ausgestattet sein.

TEXT: T. Schneider

Roboter gehören zu den am meisten genutzten Automatisierungslösungen deutscher Unternehmen. Laut dem Automation Readiness Index, den das Münchener Automationsunternehmen RobCo im Oktober 2025 veröffentlichte, machen dabei die stationären Industrieroboter 52 % und Cobots 25 % aus. Die Fertigungsindustrie ist mit 94 % der größte Nutzer von Robotern. An Werkzeugmaschinen übernehmen diese immer mehr Aufgaben im Rüsten, Beladen und Bearbeiten. Dreh- und Angelpunkt für produktive Abläufe ist dabei der Werkzeugwechsel im End-of-Arm-Tooling (EOAT), mit dem der Roboter auf die jeweils nächste Aufgabe vorbereitet wird. Mit automatischen Schnellwechselsystemen erfolgt dies effizient und mannlos.

Praktikable Gestaltung von Schnellwechselsystemen

Wie ein solches System für Anwender dabei am praktikabelsten ist, damit haben sich SMW-Autoblok und SMW-electronics befasset. Die Unternehmen mit Sitz im baden-württembergischen Meckenbeuren sind spezialisiert auf Spanntechnik sowie auf Lösungen zur Digitalisierung und Automatisierung industrieller Prozesse. Eines ihrer jüngsten Neuprodukte ist das automatische Schnellwechselsystem Acu-Grip-TC für Greifer und andere Werkzeuge. Es bildet die praktischen Anforderungen ab, die das EOAT an einen effizienten Werkzeugwechsel stellt.



Bild 1: Automatische Greifer- und Werkzeugwechsel mit dem Acu-Grip-TC verkürzen die Rüstzeiten an der Werkzeugmaschine. Bild: SMW-Autoblok / SMW-Electronics

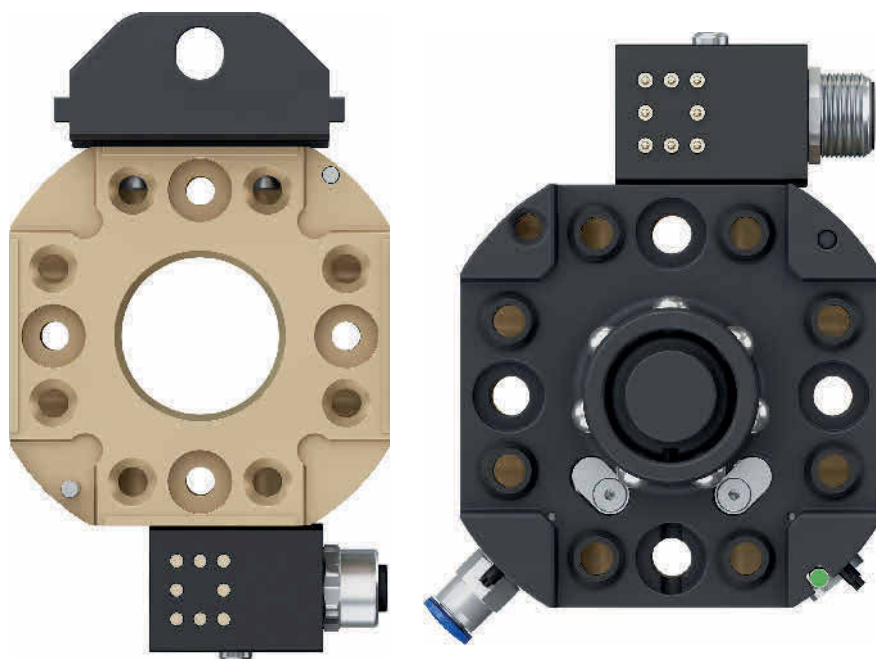


Bild 2: Die Greiferseite (li) des Acu-Grip-TC; mit einem Baukasten für Übergabemodule ermöglicht das System die Übergabe von Pneumatik, Elektrik und Sensorik und (re.) die Roboterseite; dort wird das System pneumatisch verriegelt und sensorisch überwacht. Bild: SMW-Autoblok

Anforderung 1: Präzision

Generell gilt der Werkzeugwechsel als ein Prozessschritt, in dem Ungenauigkeiten entstehen können. Unpräzise positionierte Werkzeuge oder Greifer beeinträchtigen die Fertigungsqualität und fördern den Werkzeugverschleiß. Der neuralgische Punkt ist dabei die Verriegelung. Das Acu-Grip-TC kombiniert verschiedene Techniken, um einen fehlerfreien wie schnellen Prozess im automatischen Werkzeugwechsel sicherzustellen. Dazu gehört zunächst eine mechanische Zentrierung der Greiferseite beim Koppeln mit der Roboterseite. Die Verriegelung selbst erfolgt pneumatisch mit einer hohen Zugkraft, die je nach Baugröße zwischen 4 und 36 kN liegt. Selbsthemmende Federn halten diese Kraft auch beim Wegfall der Druckluft aufrecht. Als zusätzliche Sicherung Überwachen integrierte Sensoren den Koppelungs- und Verriegelungsstatus. Fehlerhaftes oder unvollständiges Einrasten werden auf diese Weise sofort erkannt, Folgeschäden – beispielsweise durch das Abrutschen nicht korrekt gegriffener Werkstücke – vermieden. Durch dieses Sicherheitspaket ermöglicht das Acu-Grip-TC je nach Baugröße eine Wiederholgenauigkeit von $\pm 0,0015$ mm bis $\pm 0,01$ mm, mit der sich ein Roboter in einer Dockingstation innerhalb weniger Se-



Bild 3: Das kontaktlos arbeitende induktive Kopplersystem C40 Automation macht die Medien- und Signalübergabe unempfindlich gegen Verschmutzungen. Bild: SMW-Electronics

kunden mit dem passenden Werkzeug koppelt.

Anforderung 2: Passende Dimensionierung

Die besten Werte hinsichtlich Präzision, Sicherheit und Dynamik bieten Schnellwechselsysteme, die genau auf anzunehmende Traglasten einer Applikation ausgelegt sind. Bei der Acu-Grip-TC-Serie stehen fünf Baugrößen zur Verfügung, mit denen sich der Einsatz des Systems für ein breites Spektrum an Aufgaben passend dimensionieren lässt. Dieses umfasst einfache Montage- und Handlingprozesse

mit leichten Gewichten bis zu 10 oder 35 kg sowie die Maschinenbeladung mit schweren Werkstücken von 100, 350 oder 630 kg. Das Handling von Kleinteilen bis 10 kg ist auf diese Weise mit einem Acu-Grip-TC möglich, das mit 0,26/0,14 kg (Roboter-/Greiferseite) insgesamt keine 500 g wiegt. Dadurch lassen sich schnelle Bewegungen mit einer Wiederholgenauigkeit von $\pm 0,0015$ mm erzielen. Die Baugrößen am oberen Ende der Reihe sind den höchsten Traglasten vorbehalten. Mit einem Eigengewicht von insgesamt 11,4 kg (6,5/4,9 kg) gewährleistet das Acu-Grip-TC für Handlinggewichte bis zu 630 kg eine hohe Wiederholgenauigkeit von $\pm 0,01$ mm. Optional stellt SMW Varianten für noch höhere Traglasten bereit.

Anforderung 3: Variabilität

Die Stärke des EOAT ist die Vielseitigkeit: Roboter führen mehrere unterschiedliche Bearbeitungsschritte ohne Unterbrechung nacheinander durch. Ein automatisches Schnellwechselsystem erweitert diese Variabilität. Das Acu-Grip-TC bietet dafür einen Baukasten an Übergabemodulen für unterschiedliche Medien- und Signalübergaben. Sie ermöglichen sowohl den Betrieb pneumatisch und elektrisch betriebener Greifer als auch die Integration von Sensoren. Je nach Baugröße verfügt das System über 4 bis 14 Modulplätze. Dadurch lässt sich in einem Produktionszyklus eine Vielzahl an Werkzeugoptionen ohne Umstecken von Kabeln und Schläuchen nahtlos ansteuern. Diese Flexibilität bedeutet darüber hinaus einen vergleichsweise niedrigschwelligen Einstieg in die Automatisierung: Das System passt sich jeder Automationsumgebung an, lässt sich einfach installieren und ermöglicht – auch mit seinem nach ISO 9409 genormten Montageflansch – die Anbindung einer großen Bandbreite bestehender Greifsysteme und Werkzeuge.

Anforderung 4: Hohe Verfügbarkeit

Für alle Automationskomponenten in der zerspanenden Fertigung ist die Herausforderung gleich: Sie müssen robust gebaut sein, um unter den rauen Einsatzbedingungen langfristig verlässlich zu funktionieren, und das im Idealfall mit niedrigem Wartungsaufwand. Das Acu-Grip-TC kann dafür optional mit dem induktiven Kopplersystem C40 Automation ausgerüs-

tet werden. Dadurch werden Medien- und Signalübergabe weitestgehend unempfindlich gegen Verschmutzungen, denn das Koppelsystem ermöglicht die kontaktlose und somit verschleißfreie Energie- und Signalübertragung zwischen Greifer und Roboter. Die Übergabe erfolgt über einen Luftspalt von 0 bis 3 mm.

Das kubische Koppelsystem wurde von SMW speziell für die Automatisierung von Wechselanwendungen entwickelt. Es besteht aus einem Base-Element für die Roboter- und einem Remote-Element für die Greiferseite. Auf diese Weise werden Greifer und seine Sensorik mit 15 W Energie versorgt und zugleich die Signalübertragung zwischen Greifeinheit und Steuerungsebene realisiert. Das C40 Auto-

mation ist für die Signalübertragung per IO-Link und PNP/Analogsignale erhältlich. Es ist nach IP67 geschützt und vibrationsicher. Mithilfe eines Montage-Kits kann es einfach an fast allen gängigen Schnellwechselsystemen nachgerüstet werden.

Mit diesen Eigenschaften tragen automatische Werkzeugwechsel entscheidend dazu bei, Rüstzeiten zu verkürzen. Dadurch lässt sich in der Teilefertigung auch bei zunehmender Teilevielfalt und -komplexität sowie sinkenden Stückzahlen die Produktivität beibehalten: In der mannlosen Fertigung lassen sich auch mit der sinkenden Zahl an Fachkräften Fertigungsabläufe sicher durchführen, und mit der gesteigerten Flexibilität lassen sich

einzelne Produktionslinien auch für die Fertigung mehrerer Teile nutzen. Fazit: Anwender können mit automatisierbaren Lösungen ihre Wettbewerbsfähigkeit erhöhen. Das bestätigt auch die RobCo-Umfrage: Laut dieser konnte praktisch jeder zweite Betrieb, der auf Automatisierung setzt, Kosten für operative Prozesse senken, Zeit einsparen – oder seine Produktivität steigern. ■

Tobias Schneider

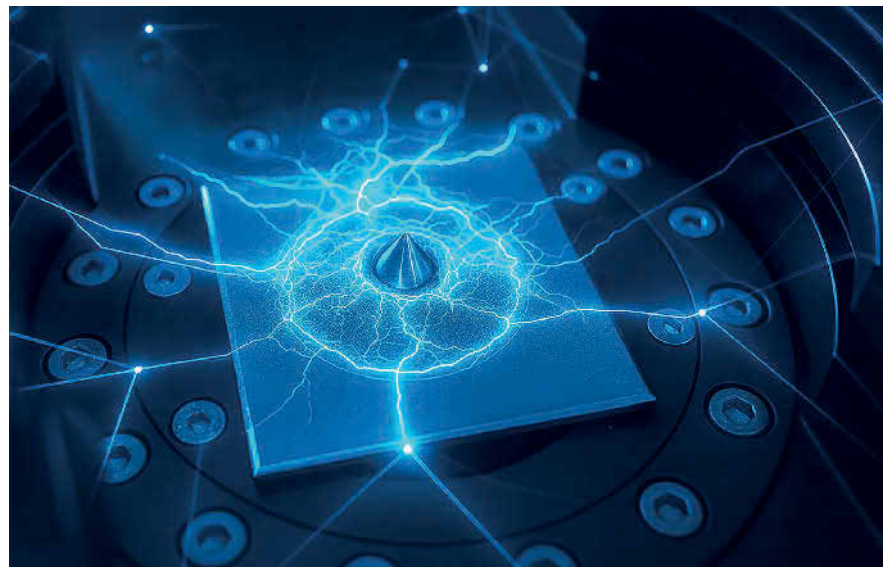
Business Development
 SMW-Autoblok Spannsysteme GmbH
 88074 Meckenbeuren
info@smw-autoblok.de
www.smwautoblok.com/de/de/

Lochaufweitungsversuch: KI erkennt Risse in Echtzeit

Zwick-Roell hat nach eigenen Angaben den Lochaufweitungsversuch nach ISO 16630 um eine KI-gestützte Risserkennung erweitert. Die neue Lösung ist in die Blechumform-Prüfmaschine BUP integriert und erkennt durchgehende Risse automatisch in Echtzeit. Damit werden Prüfergebnisse präziser, reproduzierbarer und unabhängiger vom Bediener, führt das Unternehmen aus. Die Technik sei besonders relevant für Anwendungen in der Automobilindustrie, im Energiesektor und in der Luftfahrt, in denen die Umformbarkeit moderner Blechwerkstoffe zuverlässig bewertet werden muss.

Der Lochaufweitungsversuch dient dazu, die Umformbarkeit von Blechkanten zu bewerten. Dabei wird das Lochaufweitungsverhältnis bestimmt, ein zentraler Kennwert zur Beurteilung der Umformbarkeit und Kantenrissanfälligkeit von Blechen. Entscheidend ist dabei der exakte Zeitpunkt, an dem ein durchgehender Riss entsteht.

Genau dort setzt die neue KI-Lösung des Unternehmens an: Ein speziell entwickeltes neuronales Netz, integriert in den Video-Xtens, erkennt Risse automatisch während der Prüfung. Im Unterschied zu klassischen, regelbasierten Bildverarbeitungsverfahren ist dafür kein manuelles Tuning material-spezifischer Parameter erforderlich, heißt es weiter. Die Bildverarbeitung erfolgt in rund 50 ms pro Bild auf einem üblichen



Visual Lochaufweitungsversuch mit KI. Bild: ZwickRoell GmbH & Co. KG

Prüferechner, eine zusätzliche GPU sei nicht notwendig.

Trainiert wurde die KI mit mehr als 657.000 Bildern aus rund 2.700 Proben aus Kundenprojekten, internen Prüfungen und Inbetriebnahmen. Die Rissannotationen folgen der ISO 16630. Dadurch erkennt das System Risse bei bekannten Materialien mit rund 99 % Wahrscheinlichkeit und bei neuen Materialien mit 98 bis 99 %, führt Zwick-Roell aus. Die KI-Risserkennung ist vollständig in die Prüfsoftware Test-Xpert integriert. In Kombination mit der BUP

lassen sich Prüfabläufe durchgängig automatisieren, heißt es weiter. Möglich machen das unter anderem automatisches Probenhandling, 2D-Code-Erkennung und ein Magazin für bis zu 100 Proben im Ghost-Shift-Betrieb ohne Bedienereingriff. Für neue oder exotische Materialien könne die KI gezielt nachtrainiert werden, lokal beim Kunden oder in der Cloud. Dafür bietet Zwick-Roell ein Re-Train-Programm an, mit dem Anwender eigene materialbezogene Modelle entwickeln können. www.zwickroell.com

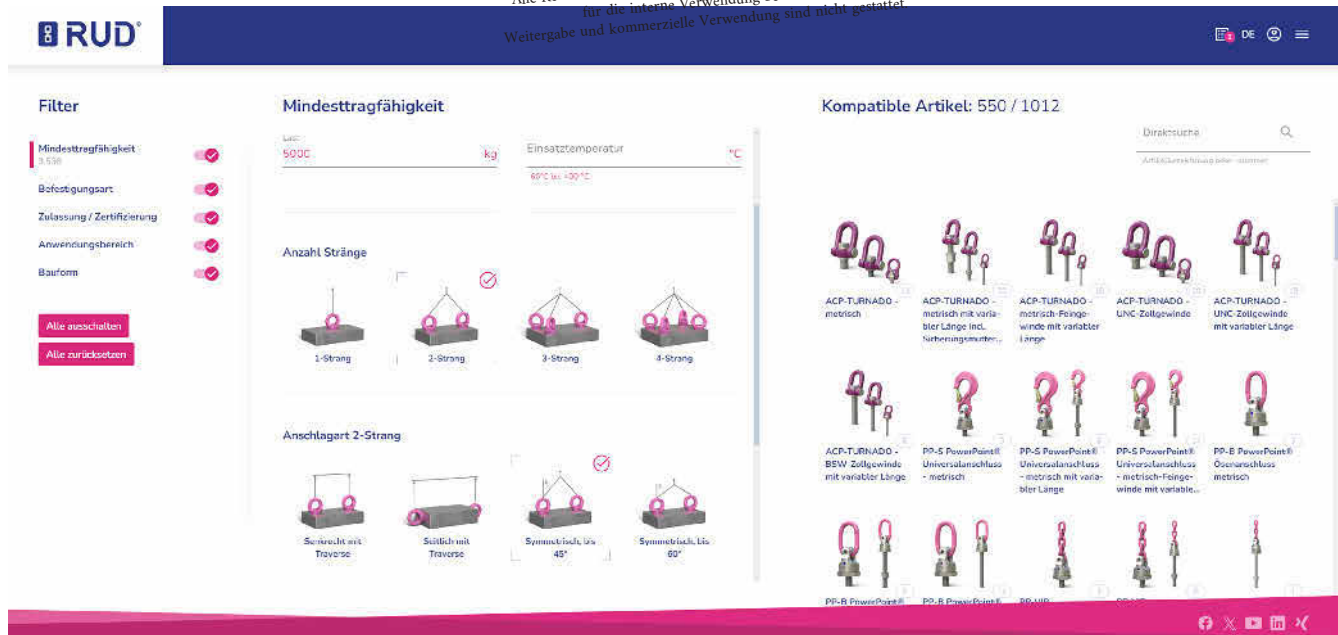


Bild 1: Der Anschlagpunkt-Konfigurator leitet Nutzer Schritt für Schritt durch den Auswahlprozess und liefert abschließend relevante technische Daten und Zusatzinformationen sowie eine 3D-Animation des gewählten Anschlagpunkts. *Bild: RUD*

Warum schweißbare Anschlag- und Zurrpunkte improvisierte Ausbrennösen ersetzen sollten

Sicheres Heben von Maschinen und Anlagen beginnt in der Konstruktion

Über den gesamten Lebenszyklus einer Maschine hinweg – von der Fertigung über die Inbetriebnahme und Wartung bis zum finalen Recycling – müssen Maschinen und ihre Baugruppen sicher gehoben und transportiert werden. Dennoch werden die dafür erforderlichen Anschlag- und Zurrpunkte in vielen Konstruktionen noch immer nicht ausreichend berücksichtigt. Der folgende Beitrag zeigt, warum ihre frühzeitige und normgerechte Auslegung entscheidend ist und weshalb schweißbare Lösungen herkömmlichen Ausbrennösen klar überlegen sind.

TEXT: F. Bihlmaier

Im Maschinen- und Anlagenbau wird das sichere Heben häufig erst dann thematisiert, wenn eine Maschine oder eines ihrer Bauteile zum ersten Mal bewegt werden muss. Damit riskieren Hersteller, zentrale Anforderungen der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG zu verfehlen. Diese verlangt ausdrücklich, dass Maschinen so konstruiert sein müssen, dass sie gefahrlos gehoben und transportiert werden können. Für Konstrukteurinnen und Konstrukteure bedeutet das, dass Anschlagpunkte ebenso sorgfältig geplant werden müssen wie jedes andere sicherheitsrelevante Bauteil.

Wird dieser Aspekt hingegen vernachlässigt, dann ist nicht klar, ob die Tragfähigkeit der verwendeten Befestigungspunkte ausreicht und ob relevante Sicherheitsfaktoren eingehalten werden. Hinzu kommt, dass bei neuen Maschinen Generationen Anschlag oder Zurrpunkte mitunter unverändert übernommen werden, obwohl sich Gewichte, Geometrien oder Lastverteilungen durch konstruktive Weiterentwicklungen – etwa zusätzliche Module, größere Aggregate oder neue Energieeinheiten – deutlich verändert haben. Bleiben die ursprünglichen Berechnungsgrundlagen unberührt, führt dies zwangsläufig zu

Lastpfaden, die nicht mehr zum aktuellen Maschinenstand passen und unter realen Bedingungen versagen können.

Nur eine konsequent an aktuellen Daten und Betriebsbedingungen orientierte Konstruktion stellt sicher, dass Anschlag und Zurrpunkte ihren sicherheitstechnischen Aufgaben gerecht werden – und somit Schäden an Maschinen, Lastabstürze und Gefährdungen für das Bedienpersonal verhindert werden.

Das bedeutet: Die konstruktive Qualität eines Anschlag- oder Zurrpunktes ergibt sich nicht nur aus seiner äußeren Form, sondern auch aus der geeigneten

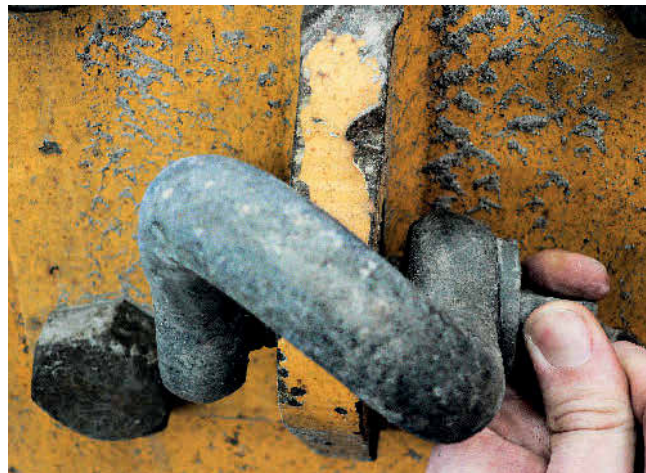
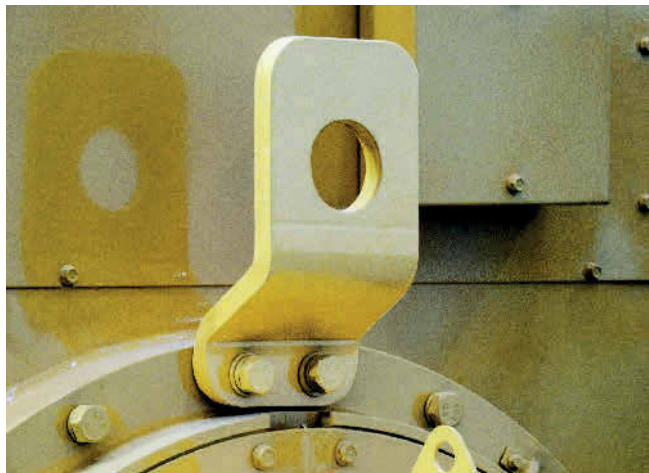


Bild 2: Im Maschinenbau kommen häufig noch Lösungen „Marke Eigenbau“ wie simple Ausbrennösen (li.) oder Schüssel (re.) zum Einsatz. Diese Konstruktionen weisen oft schon nach dem ersten Einsatz erhebliche Verformungen auf. Bild: RUD



Bild 3: Allseitig belastbare schweißbare Anschlag- und Zurrpunkte der Typen W-ABA (li.) oder L-ABA (re.) werden vollflächig mit umlaufender Kehlnaht verschweißt. Sie verfügen über geprüfte Tragfähigkeiten oder definierte Zurrkräfte. Bild: RUD

Werkstoffwahl, einer nachvollziehbar geführten Krafteinleitung in die Struktur und einem normgerechten Tragfähigkeits- und Schweißnahtnachweis. Nur wenn diese Faktoren bereits in der Konstruktionsphase berücksichtigt werden, lassen sich sichere Hebevorgänge über den gesamten Lebenszyklus der Maschine hinweg gewährleisten.

Warum Ausbrennösen keine Lösung sind

In vielen Industriezweigen finden sich nach wie vor einfache Ausbrennösen, die aus der Struktur herausgebrannt oder als Laschen auf den Maschinenrahmen aufgeschweißt werden. Sie gelten als schnell hergestellt und kostengünstig, besitzen jedoch kaum sicherheitstechnischen Wert. Solche improvisierten Anschlagpunkte verfügen weder über definierte Tragfähig-

keiten noch über geprüfte Sicherheitsfaktoren und sind nicht nach EN 13155 oder EN 1677 ausgelegt. Daher können schon Teillasten die zulässige Nenntragfähigkeit (WLL) überschreiten – insbesondere bei ungünstigen Anschlagwinkeln oder mehrsträngigen Anschlagmitteln. Entsprechend treten häufig bereits nach wenigen Belastungszyklen plastische Verformungen an Öse und Schweißnaht auf.

Um Sicherheitsrisiken zu vermeiden, verlangen die Berufsgenossenschaften daher eine vierfache Sicherheit gegen Bruch in die zugelassene Belastungsrichtung, also das Vierfache der maximal zulässigen Nenntragfähigkeit (WLL). Für Zurrpunkte gilt Ähnliches: Sie dürfen für die Ladungssicherung – dort gilt der Sicherheitsfaktor 2:1 – nicht verwendet werden, wenn keine definierte Lashing Capacity (LC) vorliegt und kein Nachweis nach DIN EN 12195-1, VDI 2700 oder

ISO 15818 erbracht wurde. Eine improvisierte Ausbrennöse kann all diese Anforderungen konstruktiv kaum erfüllen. Zudem fehlt jeder prüffähige Nachweis, der für die CE-Konformität erforderlich wäre – ein Umstand, der im Schadensfall unmittelbar den Maschinenhersteller in die Verantwortung nimmt. Aus technischer wie aus rechtlicher Sicht stellen Ausbrennösen somit keinen fachgerechten Lösungsansatz dar.

Definierte Sicherheit mit Anschlag- und Zurrpunkten

Anders als Ausbrennösen basieren professionelle Anschlag- und Zurrpunkte auf einem klar definierten konstruktiven Konzept. Sie bestehen aus hochfesten Werkstoffen, verfügen über geprüfte Tragfähigkeiten und sind mit definierten Sicherheitsfaktoren ausgestattet. Hersteller-

angaben und Bauteilgeometrien liegen vollständig vor, das Verhalten im Lastfall ist berechenbar. Für Konstrukteurinnen und Konstrukteure entsteht so eine belastbare Grundlage für die CE-Dokumentation. Zudem ermöglicht der Einsatz genormter Anschlag- und Zurrpunkte eine planbare Krafteinleitung. Innen- und Außendurchmesser sowie Anschlussradien sind dabei gezielt auf gängige Haken und Schäkel handelsüblicher Anschlagmittel abgestimmt, wodurch ein Verkanten zuverlässig vermieden wird. Hersteller wie RUD bieten solche schweißbaren Schmiedelösungen in unterschiedlichen Tragfähigkeits- und Geometrievarianten an, sodass sich spezifische Lastbilder von Maschinen ohne Lösungen „Marke Eigenbau“ abdecken lassen.

Auch schweißtechnisch bieten diese Lösungen Vorteile. Die Bauteile werden in der Regel per vollumfänglicher Kehlnaht mit dem Maschinenrahmen verbunden, was Spaltkorrosion verhindert und für einen klar definierten Kraftfluss sorgt. Voraussetzung ist eine Ausführung der Schweißverbindung nach EN ISO 1090 sowie eine Bewertung der Schweißnähte nach EN ISO 5817. Beides zusammen gewährleistet wartungsarme Anschlagpunkte, die dauerhaft am Bauteil verbleiben können und deren Tragverhalten über die gesamte Lebensdauer der Anlage sicher nachweisbar ist.

Positionierung der Punkte ist entscheidend

Neben der Auswahl der richtigen Anschlagpunkte ist ihre Positionierung entscheidend. Sie bestimmt nicht nur den Anschlagwinkel, sondern auch, wie Kräfte in tragende Strukturbereiche eingeleitet werden. Optimal platzierte Anschlagpunkte erzeugen symmetrische und gut nachvollziehbare Lastpfade und verhindern, dass unbeabsichtigte Biege- oder Torsionsmomente entstehen. Bei kastenförmigen Rahmen kann eine diagonale Anordnung sinnvoll sein, während bei langen, asymmetrischen Baugruppen häufig zusätzliche Anschlagpunkte oder Hebeträversen erforderlich sind, um kritische Neigungswinkel zu vermeiden.

Auch die Anzahl der Anschlagpunkte sollte frühzeitig definiert werden. Zwei Punkte ermöglichen zwar ein schnelles Anschlagen, bergen jedoch das Risiko von Schräglasten. Vier Anschlagpunkte verbessern die Lastverteilung, verlangen aber eine exakte Abstimmung aller Stranglängen, damit keine ungewollten Zusatzkräfte entstehen. Eine klare konstruktive Festlegung verhindert Fehlbedienungen und erleichtert später die Arbeit in Fertigung, Montage und Service.

Digitale Unterstützung in der Nachweisführung

RUD unterstützt Konstrukteure zudem mit seinen kostenlosen online Anschlagpunkte- und Anschlagmittel-Konfiguratoren. Diese unterstützen schrittweise bei der Wahl der richtigen Komponenten. Zudem können Nutzer beispielsweise Datenblätter einsehen oder Step-Daten zur Einplanung in die Konstruktion exportieren.

Was in der Planung konstruktiv definiert wird, muss im laufenden Betrieb jederzeit nachvollziehbar sein. An dieser Stelle setzt die digitale Nachweisführung an. Moderne Anschlagpunkte integrieren zunehmend RFID-Technik, mit der sich Bauteile eindeutig identifizieren und Prüfprozesse mithilfe einer geeigneten Software digital dokumentieren lassen. Im Maschinenbau ist das insbesondere im Rahmen jährlich wiederkehrender Prüfungen relevant: Tragfähigkeiten, Chargen und Betriebsanleitungen lassen sich einzelnen Komponenten eindeutig zuordnen. Die verbesserte Rückverfolgbarkeit reduziert Such- und Abstimmungsaufwände und erleichtert interne wie externe Audits. Zwar ersetzt die Digitalisierung nicht die konstruktive Planung, sie ergänzt diese aber um eine wertvolle organisatorische Komponente.

Fallbeispiel aus dem Schweranlagenbau

Wie sich die zuvor beschriebenen konstruktiven Grundsätze und organisatorischen Vorteile in der Praxis auswirken, zeigt ein Beispiel aus dem Schweranlagenbau. Ein europäischer Hersteller von

Brech- und Siebanlagen stand vor der Aufgabe, Anschlag- und Zurrpunkte sowie deren Positionierung unter wechselnden Randbedingungen zu standardisieren. Variantenreiche Anlagenkonfigurationen führten zu hohem Berechnungsaufwand; improvisierte Ösen und Einzellösungen verschärften das Problem. In Zusammenarbeit mit RUD entschied man sich letztlich für geschmiedete, allseitig belastbare schweißbare Anschlag- und Zurrpunkte der Typen W-ABA oder L-ABA. Die Bauteile werden nun vollflächig mit umlaufender Kehlnaht mit dem Maschinenrahmen verschweißt und verfügen über geprüfte Tragfähigkeiten – W-ABA bis 31,5 t, L-ABA mit definierten Zurrkräften bis zu 20 000 daN.

Konstruktiv ergab sich ein wesentlicher Effekt: Die Krafteinleitung ließ sich nun durchgängig bereits im Vorfeld planen und mittels FEM verifizieren. Parallel dazu vereinfachte die normbasierte Auslegung die Ladungssicherung im Straßentransport, weil Zurrkräfte nach VDI 2700 und DIN EN 12195-1 zuverlässig berechnet und dokumentiert werden.

Fazit: Dieses Praxisbeispiel verdeutlicht, dass sichere Hebe- und Zurrprozesse nicht am Kranhaken oder am Transportfahrzeug beginnen, sondern auf dem Konstruktionsbildschirm. Schweißbare Anschlag- und Zurrpunkte ermöglichen eine definierte Krafteinleitung, bieten geprüfte Tragfähigkeits- und Sicherheitsnachweise und erleichtern die CE-gerechte Dokumentation. Gleichzeitig reduzieren sie konstruktive Unsicherheiten und entlasten Fertigung sowie Service gleichermaßen. Wer von Beginn an auf geprüfte, dauerhaft belastbare Lösungen setzt, spart am Ende nicht nur Zeit und Aufwand, sondern vermeidet auch die Risiken improvisierter Ausbrennösen. So werden sowohl die Maschine als auch die Menschen, die mit ihr arbeiten, geschützt.

Fabian Bihlmaier

Head of Engineering and Development,
RUD Ketten Rieger & Dietz GmbH u. Co. KG
73432 Aalen
Tel. (0 73 61) 5 04 – 0
www.rud.com

Entwicklung smarter Produkt-Service-Systeme im industriellen Mittelstand

Methodische und organisatorische Erkenntnisse für die datengetriebene Wertschöpfung

Die Entwicklung smarter Produkt-Service-Systeme (PSS) vollzieht sich vor dem Hintergrund tiefgreifender technischer Umbrüche, die durch Fortschritte in der Informations- und Kommunikationstechnik ausgelöst werden. Damit verschieben sich Wertschöpfungslogiken weg von rein produktorientierten Modellen hin zu Nutzungs- und Lösungsorientierung, in denen Wert primär im Gebrauch entsteht [1]. Smart PSS bezeichnen integrierte Systeme, die vernetzte, sensorisch ausgestattete Produkte mit datenbasierten Diensten koppeln und Analyse-, Optimierungs- und Automatisierungsfunktionen bereitstellen. Die zugrunde liegenden technischen Strukturen entsprechen einem cyber-physischen System. Digitale Infrastrukturen verbinden die Elemente zu datenfähigen Netzwerken, die die kontinuierliche Nutzung, Auswertung und Weiterverarbeitung produktgenerierter Informationen ermöglichen [2].



Bild 1: bi.smart Projekttreffen bei Trumpf. Bild: IKTD

Motivation

Die damit verbundene Transformation erzeugt diverse Entwicklungsherausforderungen. Die integrierte Gestaltung heterogener Domänen wie Mechanik, Elektronik, Software, Datenanalyse, Service-Design und Geschäftsmodellarchitektur führt zu einer starken Erhöhung der Systemkomplexität [3]. Methodische Engpässe entstehen durch fehlende Standardisierung, unzureichende Modellierung datenintensiver Dienstleistungen und begrenzte Eignung etablierter PSS-Vorgehensmodelle für digitale und datenorientierte

Wertschöpfung [3]. Dies erzeugt ein Spannungsfeld aus technischen, organisationalen und geschäftsstrategischen Anforderungen, das bislang nur punktuell adressiert wird. Gleichzeitig eröffnen produktgenerierte Daten substantielle Wertschöpfungspotenziale. Echtzeitdiagnosen, prädiktive Wartung, adaptive Betriebsoptimierung oder nutzungsabhängige Abrechnungsmodelle basieren direkt auf der Analyse kontinuierlicher Datenströme. Diese datenorientierten Mechanismen steigern Verfügbarkeit, Effizienz und Individualisierung und ermöglichen Unternehmen

eine differenzierte Positionierung im Wettbewerb.

Entwicklung smarter PSS - praxisnahe Forschung

Die industrielle Umsetzung dieser Potenziale erfordert belastbare und praxisvalidierte Entwicklungsunterstützung. Das BMBF-Konsortialprojekt bi.smart adressierte diese Lücke, indem es ein systematisches, industrieorientiertes Verständnis smarter PSS-Entwicklung erarbeitete. Neun Partner, darunter fünf produzierende KMU, bildeten dafür ein interdisziplinäres Konsortium (Bild 1). Die Ausgangslage reflektierte typische Problemlagen der Industrie, welche als Grundlage für eine kritische Analyse etablierter Entwicklungsmodelle dienten, bspw. aus Produktentwicklung, mechatronischen Systemansätzen, serviceorientierten Entwicklungsframeworks und agilen Software-Entwicklungsprozessen.

Die praxisnahe Forschung ermöglichte einen iterativen Abgleich wissenschaftlicher Konzepte mit realen Entwicklungsverläufen. Die Pilotprojekte der KMU boten empirische Evidenz für typische Herausforderungen wie Datenqualitätsprobleme, Integrationshürden, organisatorische Reibungen und fehlende Lebenszyklustransparenz. Durch diese Rückkopplung konnten neue Rollenmodelle, methodische Bausteine und ein modularisiertes Vorgehensmodell verifiziert und industrienah ausgestaltet werden.

Bi.smart Launchpad

Die wesentlichen Erkenntnisse des Projekts wurden in der frei zugänglichen Web-Plattform bi.smart Launchpad konsoli-

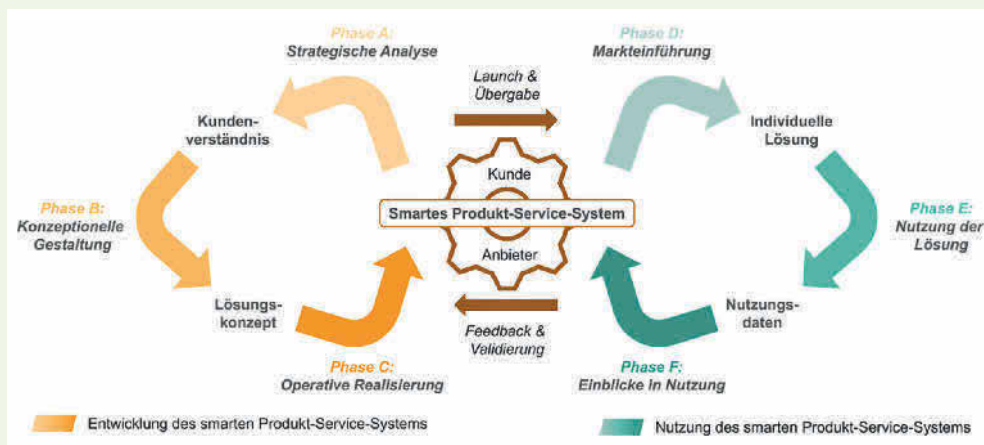


Bild 2: Referenzvorgehensmodell zur smart PSS Entwicklung. Bild: IKTD

diert (www.bismart.info). Diese Plattform aggregiert die zentralen Forschungsergebnisse und bereitet diese in einer strukturierten, anwenderorientierten Form auf. Ihr Fundament bildet die Synthese zweier Wissensstränge: empirische Lerneffekte der KMU-Entwicklungsprojekte sowie methodische und konzeptionelle Erkenntnisse. Daraus resultiert ein praxisvalidiertes Wissensökosystem, das sowohl konzeptionelle Orientierung als auch konkrete operative Unterstützung ermöglicht. Das Launchpad strukturiert die Ergebnisse entlang eines phasenbasierten Vorgehensmodells, das Analyse-, Gestaltungs- und Realisierungsaktivitäten systematisch verbindet (Bild 2). Es integriert darüber hinaus zentrale Kompetenzfel-

der der Smart-PSS-Entwicklung, darunter Sensorik- und Datenintegration, Service-Design, datenbasierte Geschäftsmodellinnovation, Plattform- und Ökosystemgestaltung sowie Rollen- und Domänenarchitektur. Ausgehend von einem Self-Assessment, welches Unternehmen hilft Entwicklungspotenziale offenzulegen, werden die Ergebnisse in Form methodischer Bausteine, Rollenprofile, Entscheidungslogiken, Templates und anwendungsnaher Fallbeispiele bereitgestellt.

Die Plattform fungiert gleichzeitig als Koordinationsinstrument, da sie Transparenz über notwendige Kompetenzen, Domäneninteraktionen und Datenflüsse schafft. Die Einbettung realer KMU-Projektverläu-

fe ermöglicht ein realistisches Verständnis operativer Herausforderungen und reduziert Entwicklungsrisiken. Durch diese industriennahe und zugleich wissenschaftlich fundierte Ausgestaltung bildet das Launchpad ein belastbares Bindeglied zwischen Forschung und Praxis und unterstützt die systematische, datenorientierte Entwicklung smarter Produkt-Service-Systeme.

Diese Arbeit wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung durch das Forschungsprojekt „bi.smart“ gefördert (Förderkennzeichen 02J19B043).

Literatur

- [1] Valencia, A.; Mugge, R.; Schoormans, J. P. L.; Schifferstein, H.: Challenges in the design of

smart product-service systems (PSSs): Experiences from practitioners. In: 19th DMI: Academic Design Management Conference, 2014.

- [2] Zheng, P., Chen, C.H., Wang, Z., 2021. Smart Product-Service Systems. Elsevier, Nanyang, Singapore.

- [3] Paliyenko, Y.; Tüzün, G.-J.; Roth, D.; Kreimeyer, M.: Inquiry and Analysis of Challenges in the Development of Smart Product-Service Systems. In: Proceedings of the Design Society 2 (2022).

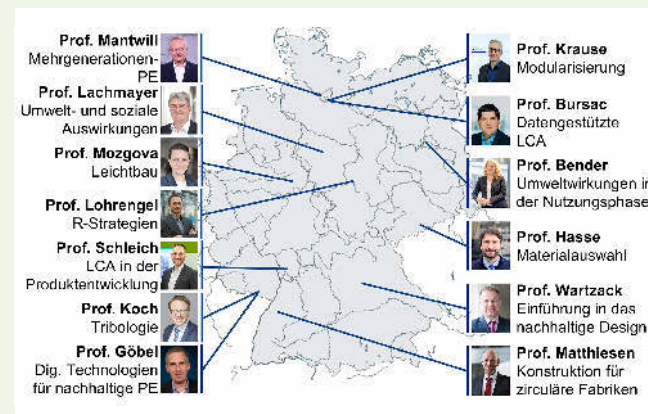
Yevgeni Paliyenko, M.Sc.
Dr.-Ing. **Daniel Roth**
Univ.-Prof. Dr.-Ing. **Matthias Kreimeyer**

Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (IKTD)
Universität Stuttgart

Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung

Ringvorlesung bringt Studierende und Professoren zusammen

Wie gelingt nachhaltige Produktentwicklung im Maschinenbau? Diese Frage stand im Zentrum der neuen digitalen Ringvorlesung „Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung“, die im Sommersemester 2025 zum ersten Mal stattfand. Masterstudierende aus 11 Universitäten aus Berlin, Chemnitz, Clausthal-Zellerfeld, Darmstadt, Erlangen, Hamburg (TU und HSU), Hannover, Kaiserslautern, Karlsruhe, Paderborn nahmen teil. Organisiert wurde die Veranstaltung aus der Querschnittsgruppe Lehre und Weiterbildung (QLW) der WiGeP, federführend durch die Professoren Bursac, Koch, Schleich und Wartack. Zusammen mit neun weiteren renommierten Universitätsprofessor:innen entstand eine hochschulübergreifende Vorlesungsreihe zur



Team der WiGeP-Ringvorlesung „Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung“
Bild: WiGeP/QLW

nachhaltigen Produktentwicklung. Sie bereitet zentrale Themen fundiert und praxisnah anhand aktueller Forschungsergebnisse der beteiligten Institute auf (siehe Grafik).

Joana Stein, Studentin der TUHH, zieht ein klares Fazit: „Mich hat vor allem das breite Themenspektrum überzeugt. Die Vorlesungsreihe hat eindrucksvoll gezeigt, wie unterschiedlich nachhaltige Produkt-

entwicklung gedacht und erforscht wird.“ Auch andere Teilnehmende betonten den Gewinn der Vielfalt: „Die unterschiedlichen Perspektiven der Dozierenden waren sehr bereichernd. Ich habe viele neue Denkanstöße mitgenommen.“ Die Bandbreite der Themen wurde vielfach als Stärke genannt. Ein Studierender schrieb: „Die Themen waren spannend, die Vorlesungen gut

aufgebaut und die Folien klar. Für mich war das eine durchweg gelungene Veranstaltung.“ Aufgrund der positiven Resonanz soll die Vorlesung künftig jedes Sommersemester stattfinden. Wer teilnehmen möchte, kann sich an felix.foerst@isem-tuHH.de wenden. Der Zugang wird dann einfach bereitgestellt, alle Interessierten sind herzlich eingeladen.

Prof. Dr.-Ing. **Nikola Bursac**
Felix Förster, M. Sc.
ISEM – Institut für Smarte Entwicklung und Maschinenelemente, TU Hamburg

Prof. Dr.-Ing. **Oliver Koch**
Fachgebiet für Maschinenelemente, Getriebe und Tribologie, RPTU Kaiserslautern-Landau

Prof. Dr.-Ing. habil. **Benjamin Schleich**
Fachgebiet Product Life Cycle Management, TU Darmstadt

Prof. Dr.-Ing. **Sandro Wartack**
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik KTMfK, FAU Erlangen – Nürnberg

Neuer Entwurf DIN 2769: Konzepte und Werte für Allgemeintoleranzen

W. Steger, K. Paetzold-Byhain, C. Lipp, P. Robl, T. Engelke, B. Wegner

INHALT Der Beitrag erläutert Aspekte der als Normentwurf erarbeiteten Neufassung von DIN 2769. Die wenigen darin enthaltenen Vorgaben werden um Tabellen mit Toleranzwerten erweitert, Regeln zur Festlegung der Toleranzwerte werden präzisiert und es werden neue Konzepte für die Allgemeintolerierung dargestellt. Die Neuerungen umfassen ein Verfahren zur Festlegung der allgemeinen Flächenprofiltoleranz, eine allgemeine Positionstoleranz für abgeleitete Geometrieelemente und die mögliche Kombination individueller und allgemeiner Spezifikationen. Ausgehend von den Grundsätzen nach DIN EN ISO 22081 werden die Möglichkeiten einer GPS-konformen allgemeinen Spezifikation wesentlich präzisiert und erweitert.

ABSTRACT This article explains aspects of the new version of DIN 2769, available as a draft standard. The sparse specifications of DIN 2769 are expanded to include tables of tolerance values, rules for defining tolerance values are clarified, and new concepts are defined for general geometrical specification. The improvements include a procedure for determining the general surface profile specification, a general position tolerance for derived features, and the possible combination of individual and general geometrical specifications. Based on the principles of DIN EN ISO 22081, the possibilities of general specification according to the GPS become significantly more precise and comprehensive.

Ziel einer Neufassung von DIN 2769

Allgemeine Spezifikationen, kurz auch als Allgemeintoleranzen bezeichnet, sind wesentlicher Bestandteil der geometrischen Spezifikation eines Bauteils. Die Integration allgemeiner Spezifikationen reduziert den Aufwand für individuelle Spezifikationen auf die funktional wichtigen Geometrielemente und sichert eine vollständige Spezifikation einschließlich Tolerierung für sämtliche Flächen eines Einzelteils. Gleichzeitig gibt die einzuhaltende Allgemeintoleranz die insgesamt geforderte Fertigungsqualität an [1].

Mit der Entwicklung des GPS (Normensystem zur geometrischen Produktspezifikation) und der gleichberechtigten Produktdokumentation durch 2D-Zeichnungen und/oder 3D-CAD-Modelle müssen die Konzepte der allgemeinen Spezifikation weiterentwickelt werden. Bestehende DIN ISO-Normen der Reihe 2768 ([2, 3]), die Allgemeintoleranzen beispielsweise abhängig von der Maßeintragung in der 2D-Zeichnung festlegen, sind nur noch begrenzt anwendbar und müssen daher ersetzt beziehungsweise erweitert werden.

Für das GPS ist als Grundsatz der allgemeinen Spezifikation in DIN EN ISO 8015 [4] festgelegt, dass eine allgemeine Spezifikation für ein Geometrielement dann gilt, wenn keine gleichartige individuelle Spezifikation vorliegt. Die nachgeordnete DIN EN ISO 22081 [5] gibt zwei Arten der allgemeinen Spezifikation an:

1. Die allgemeine geometrische Spezifikation, die als Flächenprofiltoleranz angegeben wird. Sie gilt für jedes Geometrielement (= jede Oberfläche) und ersetzt die vielfältigen allgemeinen Form- und Lagespezifikationen der Vorgänger-Norm DIN ISO 2768-2 [3] wie Geradheit, Rechtwinkligkeit, Lauf usw.
2. Die allgemeine Größenmaßspezifikation, die mit Toleranzwerten für linear size und angular size angegeben wird. Sie gilt für Größenmaßelemente und ist unabhängig von explizit spezifizierten (z. B. auf der Zeichnung tatsächlich eingetragenen)

Längen-, Durchmesser- oder Winkelmaßen. Die Gleichwertigkeit von expliziten Spezifikationen und Modellwertabfragen (z. B. aus einem 3D-CAD-Modell) ergibt sich aus der DIN ISO 16792 [6], auf die die Einleitung zu DIN EN ISO 22081 [5] verweist. Dagegen bezieht sich die Vorgänger-Norm DIN ISO 2768-1 [2] nur auf die tatsächlich eingetragenen Maße.

Die Möglichkeit weiterer allgemeiner Spezifikationen, zum Beispiel in anderen Normen, wird in DIN EN ISO 22081 [5] ausdrücklich nicht behandelt und somit offengelassen.

Gegenüber den Toleranzwerten und -klassen der etablierten, aber obsoleten Normenreihe 2768 [2, 3] sind im GPS nur wenige Vorgaben zur konkreten Festlegung der Allgemeintoleranzen enthalten. DIN EN ISO 22081 [5] nennt für Toleranzwerte lediglich allgemeine Regeln.

Angegeben werden können demnach:

- Einzelwerte oder
- variable Werte, abhängig von der Größe des Geometrieelements oder abhängig vom Abstand des Geometrieelements zum Bezugssystem.

Die allgemeinen Toleranzangaben können die Toleranzwerte explizit oder über Verweise auf andere Dokumente spezifizieren. Konkrete Vorgaben für Werte enthält die Norm DIN EN ISO 22081 [5] nicht.

Um dem Anwender die Auswahl von Toleranzwerten zu erleichtern, existiert DIN 2769 [7], in der das Konzept der Normenreihe 2768 [2, 3] mit Tabellen für Toleranzklassen und -werte aufgenommen ist und GPS-konform weitergeführt wird. Bisher enthält DIN 2769 [7] aber nur einzelne Toleranzwerte für das Flächenprofil und variable Toleranzwerte für Größenmaße.

Insgesamt ersetzen die aktuellen GPS-Normen DIN EN ISO 22081 [5] und DIN 2769 [7] die bisherige Normenreihe 2768 [2, 3] nur ungenügend und bieten nicht die gewohnten Festlegungen und Gestaltungsmöglichkeiten bei der Allgemeintolerierung. Dies erklärt auch die verbreitete Skepsis und Zurückhaltung in vielen Unternehmen bezüglich einer Umstel-

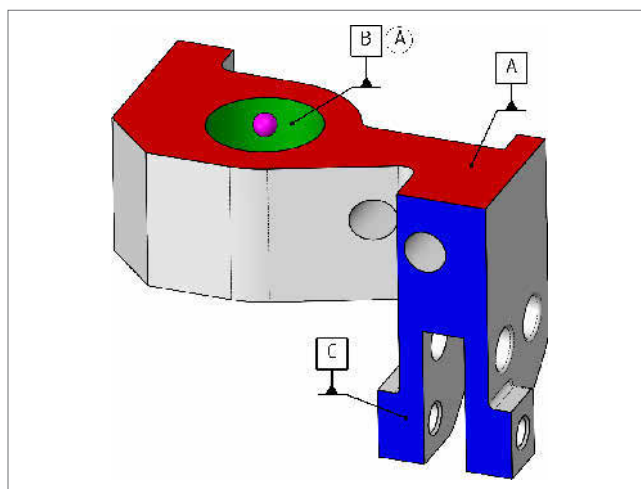
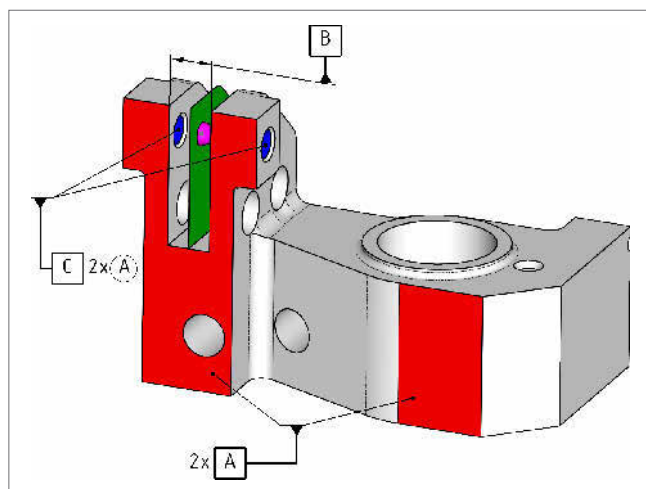


Bild 1. Frästeil mit zwei Varianten des Bezugssystems für die geometrische Spezifikation (links REFP_1, rechts REFP_2) Grafik: Autoren

lung auf GPS bei der allgemeinen Tolerierung und bei der Anwendung auf 3D-CAD-Modelle.

Im Auftrag des DIN NA 152-03-02 AA (Arbeitsausschuss CEN/ISO Geometrische Produktspezifikation und -prüfung) wird daher der Normentwurf DIN 2769_neu erarbeitet. Wesentliche Neuerungen und Ergänzungen werden nun dargestellt, wobei mit dem Begriff DIN 2769_neu immer der vorliegende Normentwurf gemeint ist. Alle nicht angesprochenen Teile von DIN 2769 [7] werden unverändert in den Normentwurf DIN 2769_neu übernommen.

Für die Veranschaulichung in den folgenden Abschnitten dient ein in **Bild 1** dargestelltes fiktives Frästeil (Abmessungen 150 mm × 100 mm × 80 mm) mit diversen Bohrungen, Verrundungen und Fasen. Zunächst setzt eine zum GPS konforme geometrische Spezifikation in jedem Fall ein eindeutiges Bezugssystem voraus. Dieses ist auch für die allgemeine Spezifikation relevant, insbesondere wenn die in der Norm DIN EN ISO 22081 [5] genannte Toleranzwertfestlegung abhängig vom Abstand zwischen Geometrieelement und Bezugssystem erfolgt. Nachfolgend werden für das Frästeil zwei alternative Bezugssysteme verwendet und als REFP_1 und REFP_2 bezeichnet. Bild 1 zeigt die als Bezüge verwendeten Flächen, Achsen und Ebenen jeweils mit Spezifikation und farbiger Markierung (Bezug A rot, Bezug B grün und Bezug C blau). Die sich ergebenden Ursprünge der Bezugssysteme sind durch violette Kugeln visualisiert.

Es wird darauf hingewiesen, dass sich alle Ausführungen in den folgenden Abschnitten auf die allgemeinen Toleranzen beziehen.

hen. Auf die aus funktionalen Gründen wichtigeren individuellen Toleranzspezifikationen wird in diesem Beitrag nicht eingegangen. Ebenso nicht beachtet werden spezielle Normen für allgemeine Spezifikationen bei ausgewählten Produkten, die beispielsweise für Kunststoff-Formteile, Schweiß- und Gussteile zu beachten sind.

Variable Toleranzwerte für die allgemeine Flächenprofiltoleranz

Die aktuelle Fassung von DIN 2769 [7] enthält keine variablen Toleranzwerte für die allgemeine Flächenprofiltoleranz, sondern nur einzelne Toleranzwerte. Variable Toleranzwerte werden jedoch von vielen Anwendern gefordert, da ein einzelner Toleranzwert für das gesamte Bauteil häufig zu pauschal und damit für die Anwendung in der Praxis ungeeignet ist. Für die Festlegung variabler Toleranzwerte empfiehlt die DIN EN ISO 22081 [5] lediglich, Tabellen zu verwenden und diese direkt oder als Verweis auf andere Dokumente in der allgemeinen Spezifikation anzugeben.

DIN 2769_neu bietet nun für die allgemeine Flächenprofiltoleranz drei Varianten zur Festlegung der variablen Toleranzwerte. Die Varianten setzen die allgemeinen Vorgaben nach DIN EN ISO 22081 [5] um, indem die Größe des Geometrieelements oder dessen Abstand zum Bezugssystem oder auch eine Kombination beider Größen den Toleranzwert bestimmt. Zunächst ist eine von drei Varianten V1, V2 oder V3 nach **Tabelle 1** für die Ermittlung eines Kennwerts zu wählen.

Tabelle 1. Drei Varianten für die Kennwertermittlung zur Festlegung variabler Toleranzwerte für Flächenprofil

Variante	V1	V2	V3
Festlegung nach:	Flächengröße	Entfernung zum REFP	Flächengröße und Entfernung zum REFP
Kennwort, zu ermitteln in:	Wurzel aus dem Flächeninhalt	Punktabstand zwischen REFP und nächstgelegenen Punkt der Fläche	Wurzel aus dem Flächeninhalt + Punktabstand zwischen REFP und nächstgelegenen Punkt der Fläche

REFP: Ursprung des Bezugssystems

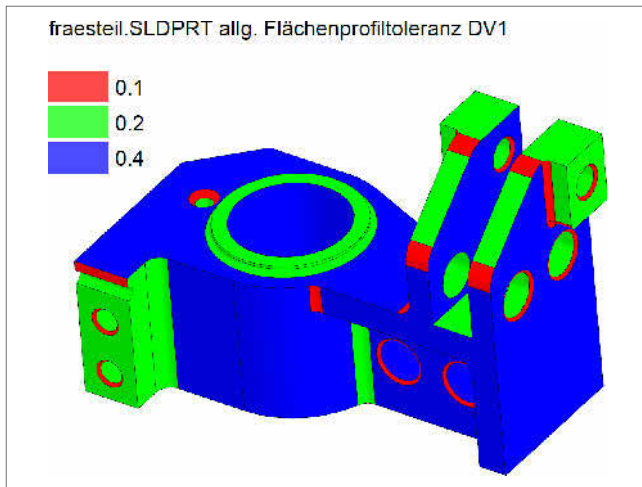


Bild 2. Allgemeine Flächenprofilltoleranz für Toleranzklasse DV1 nach V1
Grafik: Auoren

Die Flächengröße (V1) beziehungsweise die Entfernung der Fläche zum Ursprung des Bezugssystems (V2) sind mit den Messfunktionen im 3D-CAD-System oder in der 2D-Zeichnung für jedes integrale Geometrieelement (= jede Oberfläche) zu ermitteln. Bei V3 wird der Kennwert aus Flächengröße und Entfer-

nung der Fläche zum Ursprung des Bezugssystems ermittelt. Nach dem ermittelten Kennwert und einer zu wählenden Toleranzklasse ergibt sich der Toleranzwert aus einer Tabelle, die in DIN 2769_neu aufgenommen ist. Die Toleranzklassen werden mit AV, BV, ..., FV bezeichnet. Als Toleranzangabe ist letztlich eine Kennung (z.B. DV1) anzugeben, die aus Toleranzklasse (AV bis FV) und Variantennummer (1 bis 3) gebildet wird. Für alle drei Varianten gilt dieselbe Tabelle mit Toleranzklassen und -werten.

Je nach gewählter Variante zur Kennwertermittlung und verwendetem Bezugssystem ergeben sich unterschiedliche Toleranzwerte für die Oberflächen (die integralen Geometrielemente) des Frästeils. Dies zeigen **Bild 2**, **Bild 3** und **Bild 4**. Die Wahl der Toleranzklassen DV und CV beruht in den Beispielen nicht auf funktionalen oder fertigungstechnischen Aspekten. Es sollen lediglich vergleichbare Allgemeintoleranzwerte im Bereich von etwa 0,1 bis 0,4 für die Varianten V1 bis V3 spezifiziert werden.

Bild 2 stellt die allgemeine Flächenprofilltoleranz farbkodiert dar. Die Toleranzwertermittlung erfolgt hier für Toleranzklasse DV nach V1. Durch die gewählte Variante ergeben sich die Toleranzwerte nur in Abhängigkeit von der Flächengröße. Das Bezugssystem spielt bei V1 keine Rolle.

Die Tolerierung nach V1 ist sehr einfach anwendbar und eignet sich für wenig detailreiche Bauteile beziehungsweise für Bau-

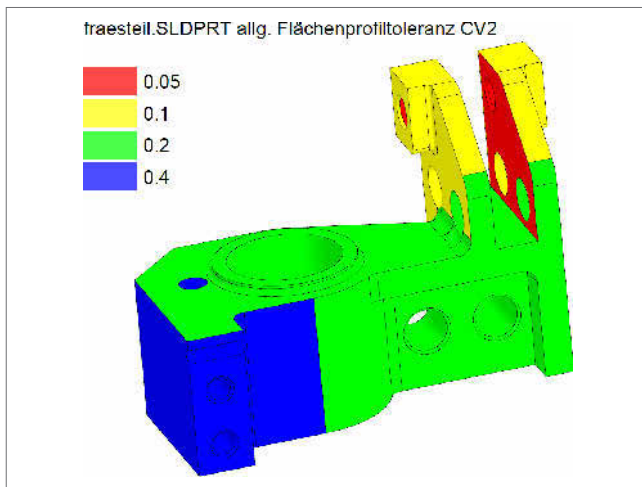


Bild 3. Allgemeine Flächenprofilltoleranz für Toleranzklasse CV2, links für REFP_1 und rechts für REFP_2 bei Anwendung von V2 Grafik: Autoren

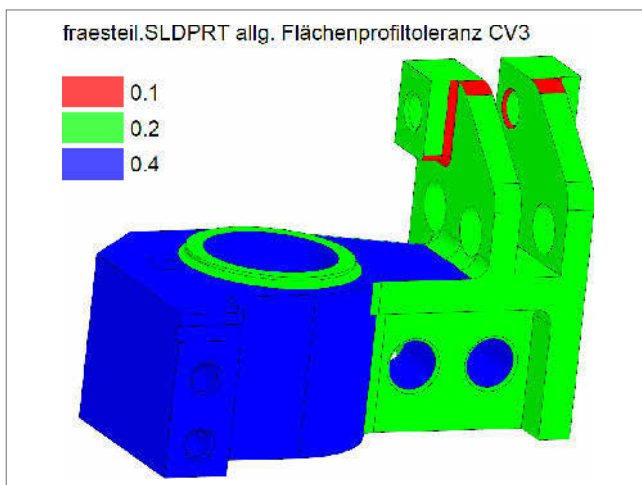
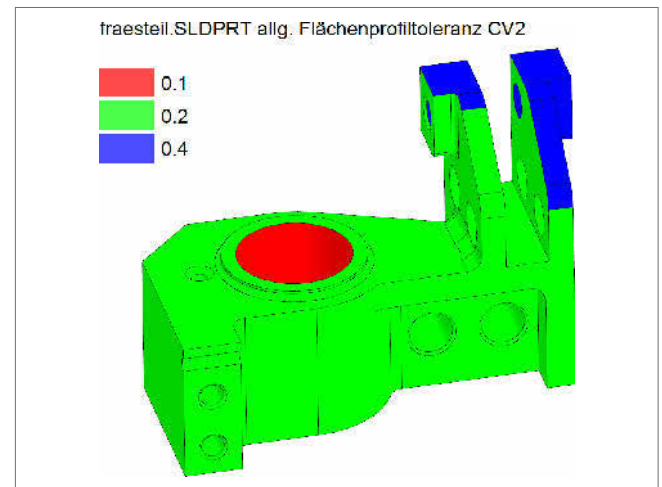
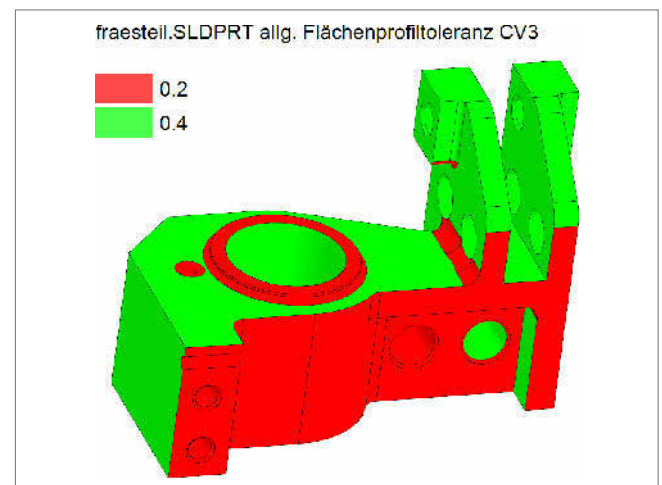


Bild 4. Allgemeine Flächenprofilltoleranz für Toleranzklasse CV3, links für REFP_1 und rechts für REFP_2 nach V3 Grafik: Autoren



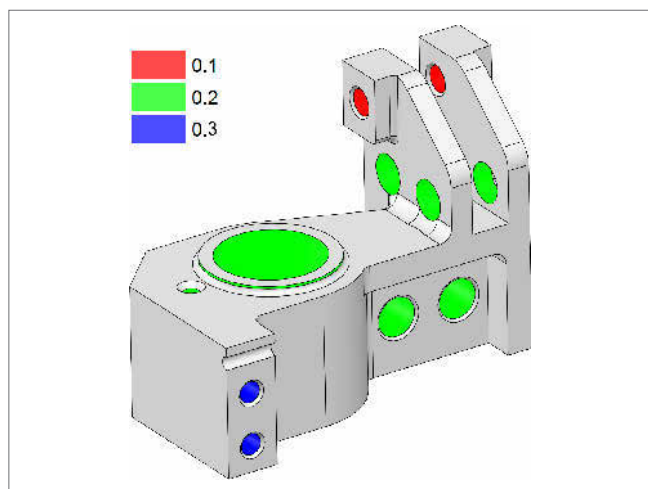


Bild 5. Allgemeine Positionstoleranz für Toleranzklasse AV für REFP_1 Grafik: Autoren

teile mit vielen individuell tolerierten Details. Für das Beispielteil ist sie weniger gut geeignet, da für die funktional unbedeutenden Verrundungen und Fasen unnötig kleine Toleranzwerte festgelegt werden.

Bild 3 zeigt die farbkodierte allgemeine Flächenprofiltoleranz nach Variante 2. Entsprechend haben hier die Flächen in der Umgebung des Bezugssystemursprungs kleine Toleranzwerte, die mit größerer Entfernung zunehmen. Hier ergeben sich abhängig von der Festlegung des Bezugssystems unterschiedliche Allgmeintolerierungen. Die höheren Toleranzforderungen ergeben sich jeweils in der Umgebung des (meist) funktional wichtigen Ursprungs des Bezugssystems. Die Größe der Flächen wird hierbei nicht berücksichtigt. Tendenziell werden bei V2 mehr unterschiedliche Toleranzwerte vergeben als bei den Varianten V1 und V3.

Variante V3 kombiniert V1 und V2, siehe Bild 4. Damit erhalten Flächen einen größeren Toleranzwert, wenn sie relativ groß und weit entfernt vom Ursprung des Bezugssystems sind. Über die Lage des Bezugssystemursprungs kann auch bei V3 die Lage der Bereiche mit kleineren Toleranzwerten (= höhere Genauigkeit) gesteuert werden. Allerdings entsteht durch die Summenbildung ein gewisser Ausgleich der Einflüsse aus Flächengröße und Abstand zum Bezugssystem. Damit ergeben sich weniger unterschiedliche Toleranzwerte und eine gröbere Tolerierung größerer Flächen.

Da bei V3 der Kennwert zur Toleranzwertauswahl durch eine Summenbildung ermittelt wird, ist er im Vergleich zu V1 und V2 größer (jedoch selten mehr als 40 %). Bei dem als Beispiel verwendeten Frästeil zeigt sich dieser Effekt allerdings nicht in höheren Toleranzwerten. Ist der Effekt größer, kann gegenüber V1 oder V2 die nächstkleinere Toleranzklasse gewählt werden, um mit V3 etwa gleiche Toleranzwerte festzulegen.

Allgemeine Positionstoleranz für abgeleitete Geometrielemente

Nach DIN EN ISO 22081 [5] gilt die allgemeine geometrische Spezifikation (Flächenprofiltoleranz) für alle integralen Geometrielemente. Damit unterliegen sowohl funktional wichtige und sehr häufig auftretende Bohrungen als auch die oft funktionslosen Begrenzungsflächen eines Bauteils denselben allgemeinen Tole-

ranzen. Die Wahl übergreifend geeigneter Allgmeintoleranzwerte ist schwierig.

Die früher übliche Abstandsbemaßung zwischen Bohrungsmittelpunkten mit den für Längenmaße geltenden Allgmeintoleranzen ist nicht mehr anzuwenden, um eindeutige Spezifikation zu sichern. Zugleich schließt DIN EN ISO 22081 [5] abgeleitete Geometrielemente wie Bohrungsachsen oder Mittelebenen von der allgemeinen Toleranzspezifikation generell aus.

Aus den genannten Gründen ist eine gesonderte allgemeine Spezifikation für abgeleitete Geometrielemente sinnvoll. In DIN 2769_neu wird daher eine allgemeine Positionstoleranz eingeführt, womit vor allem Bohrungspositionen mittels Allgmeintoleranzen spezifiziert werden können.

Das Tolerierungskonzept folgt dabei DIN ISO 20457 [8] für Kunststoffteile, indem die Positionstoleranz abhängig vom Abstand zwischen dem Bezugssystemursprung und dem tolerierten Geometrielement festgelegt wird. DIN 2769_neu legt die Abstandermittlung für die wesentlichen abgeleiteten Geometrielemente (Achse, Mittelebene, Mittelpunkt) fest und bestimmt den kürzesten Abstand zum Geometrielement als Kriterium für die Auswahl variabler Toleranzwerte. Tabellen mit einzelnen und variablen Toleranzwerten nach Toleranzgrad beziehungsweise Toleranzklasse werden in DIN 2769_neu festgelegt.

Bild 5 veranschaulicht für die Bohrungen des Frästeils die variablen (abstandsabhängigen) Toleranzwerte. Lediglich wegen der besseren Anschaulichkeit sind im Bild 5 die Bohrungsflächen gefärbt. Wie erläutert, bezieht sich die allgemeine Positionstoleranz jedoch auf die Achsen der Bohrungen (die abgeleiteten Geometrielemente).

In DIN 2769_neu wird festgelegt, dass die allgemeine Flächenprofiltoleranz im Fall einer spezifizierten allgemeinen Positionstoleranz für das zum abgeleiteten Geometrielement gehörende integrale Geometrielement nicht gilt. Beispielsweise hebt bei einer Bohrung demnach die allgemeine Positionstoleranz für die Achse die allgemeine Flächenprofiltoleranz für die Zylinderfläche auf. Damit werden mögliche Mehrdeutigkeiten bei der gleichzeitigen Spezifikation von Flächenprofil- und Positionstoleranz unterbunden. Hier folgt DIN 2769_neu der Regelung, die in DIN EN ISO 22081 [5] bereits für allgemeine Größenmaße festgelegt ist.

Die allgemeine Positionstoleranz für Bohrungen ist damit vorrangig gegenüber der allgemeinen Flächenprofiltoleranz, die beispielsweise an einfachen Begrenzungsflächen gilt. Mit der Positionstoleranz eröffnet sich eine zusätzliche Option für die allgemeine Spezifikation, die viele individuelle Spezifikationen überflüssig macht.

Geometrielemente mit allgemeinen und individuellen Toleranzspezifikationen

Die Flächenprofiltoleranz stellt eine umfassende Form- und Lage-toleranz für ein Geometrielement dar. So muss beispielsweise die Toleranzzone einer gleichzeitig für das Geometrielement spezifizierten Ebenheits- oder Rechtwinkligkeitsanforderung stets innerhalb der Flächenprofil-Toleranzzone liegen. Damit können besondere funktionale Anforderungen abgesichert werden. Die Weiten der einzelnen Toleranzzonen müssen aufeinander abgestimmt werden.

Für mehrfache Anforderungen und mögliche Überschneidungen zwischen allgemeinen und individuellen Toleranzspezifikatio-

Tabelle 2. Beispiele für individuelle und allgemeine Toleranz-Spezifikationen mit und ohne Modifikator add

Fall	Individuelle Spezifikation	Allgemeine Spezifikation/ Allgemeine Toleranzangabe
1		a) Allgemeintoleranzen ISO 22081 $\sqrt[0,3]{A \ B \ C}$ b) Allgemeintoleranzen ISO 22081 Tolerierung (AD) – DIN 2769 (add) $\sqrt[0,3]{A \ B \ C}$
2		a) Allgemeintoleranzen ISO 22081 $\sqrt[0,3]{A \ B \ C}$ b) Allgemeintoleranzen ISO 22081 Tolerierung (AD) – DIN 2769 (add) $\sqrt[0,3]{A \ B \ C}$ $\Phi 0,1 \ A \ B \ C$
3		Allgemeintoleranzen ISO 22081 Tolerierung (AD) – DIN 2769 (add) $\sqrt[0,3]{A \ B \ C}$ $\Phi 0,1 \ A \ B \ C$

nen enthält DIN EN ISO 22081 [5] die strikte Regel H. Diese Regel setzt die allgemeine Flächenprofilltoleranz außer Kraft, sobald irgendeine individuelle Toleranzspezifikation für dasselbe Geometrieelement vorliegt. Als Konsequenz folgt, dass die entfallende allgemeine Toleranz durch individuelle Toleranzspezifikationen für Form und/oder Lage ersetzt werden muss. Das führt zu erheblichem Aufwand.

Um diesen zu vermeiden, wird in DIN 2769_neu ein Modifikator add eingeführt, der die Spezifikation von Geometrieelementen sowohl durch allgemeine als auch gleichzeitig durch individuelle Toleranzforderungen erlaubt. Damit kann der Geltungsbereich der allgemeinen Flächenprofilltoleranz erweitert werden, was den individuellen Spezifikationsaufwand deutlich reduziert.

Für das Beispiel-Frästeil wird dies für den Fall REFP_1 an der großen Bohrung Durchmesser 40 mit Bund betrachtet. Die Zeilen in **Tabelle 2** enthalten Fälle, bei denen eine jeweils mögliche Kombination von individuellen und allgemeinen Spezifikationen dargestellt wird, um das Potential der allgemeinen Positionstoleranz und der Nutzung des Modifikators add aufzuzeigen. Falls mit add toleriert wird, muss gleichzeitig die Abweichung von bestehenden Normen (hier von DIN EN ISO 22081 [5]) mit dem Modifikator AD angezeigt werden. Vereinfachend sind bei den Allgemeintoleranzangaben immer nur fallabhängig die relevanten Teile der allgemeinen Spezifikation angegeben.

In Tabelle 2 stellen die Fälle 1a und 2a den status quo dar: Individuelle Spezifikationen, zum Beispiel für Ebenheit oder eine Passtoleranz setzen die allgemeinen Spezifikationen außer Kraft. Für die Stirnfläche des Bundes müsste dann die Lage zusätzlich individuell toleriert werden (Fall 1a). Im Fall 2a sind nach Einfügen der Passungsangabe Spezifikationen für die Form und Lage der Bohrung nötig. Bei Anwendung des Modifikators add, nach 1b und 2b, sind diese nicht mehr erforderlich, da die Flächenprofilltoleranz in Kraft bleibt. Zusätzlich wird im Fall 2b festgelegt, dass die allgemeine Positionstoleranz nach DIN 2769_neu gültig bleibt.

Weiterführende Überlegungen sind für Fall 3 in Tabelle 2 nötig. Es wird zunächst der Grundsatz der allgemeinen Spezifikation

on nach DIN EN ISO 8015 [4] beachtet, nachdem eine individuelle Spezifikation die allgemeine Spezifikation gleicher Art stets aufhebt. Es gilt also die größere individuelle Positionstoleranz. Sowohl die individuell spezifizierte Passtoleranz mit Hüllbedingung als auch die allgemeine Flächenprofilltoleranz sind Formtoleranzen für die Zylinderfläche. Da durch den Modifikator add die allgemeine Flächenprofilltoleranz nicht aufgehoben wird, sind gemäß dem Grundsatz der Unabhängigkeit nach DIN EN ISO 8015 [4] beide Spezifikationen einzuhalten. Allerdings ist die allgemeine Flächenprofilltoleranz in diesem Fall ohne praktische Bedeutung, weil die Passtoleranz mit Hüllbedingung die kleinere Toleranzzone vorgibt.

ISO 8015: Grundsatz der allgemeinen Spezifikation			
Allgemeintoleranzen	Flächenprofil	Größenmaße	Position
Regeln	ISO 22081	ISO 22081	DIN 2769_neu
Werte	DIN 2769_neu	DIN 2769_neu	DIN 2769_neu

Bild 6. Verfügbare Regeln und Werte für die Allgemeintolerierung Grafik: Autoren

Zusammenfassung der Überarbeitung von DIN 2769

Ausgehend vom Grundsatz der allgemeinen Spezifikation nach DIN EN ISO 8015 [4] stehen nun drei Arten von Allgemeintoleranzen zur Verfügung (**Bild 6**). Deren Spezifikation und Anwendung ist in DIN EN ISO 22081 [5] und DIN 2769_neu geregelt und festgelegt.

Durch die erarbeitete DIN 2769_neu sind drei Konzepte im Kontext der allgemeinen Spezifikation zusätzlich verfügbar. Diese regeln:

- die präzisierte Bestimmung variabler Allgemeintoleranzwerte für Flächenprofil,
- die allgemeine Positionstoleranz für abgeleitete Geometrieelemente und
- die erweiterte Kombination individueller und allgemeiner Toleranz-Spezifikationen.

Weiter sind für alle Arten der Allgemeintoleranz in DIN 2769_neu Tabellen mit einzelnen und mit variablen Toleranzwerten enthalten, die nach Toleranzklassen beziehungsweise Toleranzgraden gestaffelt sind.

Damit ist eine wesentlich verbesserte und GPS-konforme allgemeine Spezifikation möglich, die dem Entwickler mehr Gestaltungsspielraum bereitstellt und eine geeignete Alternative zur nennmaßabhängigen Toleranzwertfestlegung nach der Normenreihe 2768 [2], [3] darstellt. Weiterhin kann der Spezifikationsaufwand reduziert werden, da die allgemeinen Toleranzangaben für eine größere Anzahl Geometrieelemente gelten und damit weniger individuelle Spezifikationen nötig sind.

Neben der Konformität zum GPS muss die Allgemeintolerierung sowohl die 3D-modellbasierte als auch die 2D-zeichnungs-basierte geometrische Produktspezifikation gleichermaßen regeln und damit die Etablierung digitaler Prozessketten (z. B. mittels PMI im 3D-CAD-Modell) unterstützen. Daher berücksichtigt der Normentwurf DIN 2769_neu ausdrücklich die Randbedingungen, die durch DIN ISO 16792 [6] zur Produktdokumentation vorgegeben sind. Der Anhang C des Normentwurfs zu DIN 2769_neu erläutert die Anwendung der Regeln zur Allgemeinto-

lierung für Größenmaße und TEDs (theoretically exact dimensions), die per Modellwertabfrage aus einem 3D-CAD-Modell ermittelt werden und nicht als Anmerkung explizit vorhanden sind.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Literatur

- [1] Jorden, W.; Schütte, W.: Form- und Lagetoleranzen Geometrische Produktspezifikationen (ISO GPS) in Studium und Praxis, Hanser 2020
- [2] DIN ISO 2768 Teil 1: Allgemeintoleranzen, Toleranzen für Längen- und Winkelmaße ohne einzelne Toleranzeintragung, 1991
- [3] DIN ISO 2768 Teil 2: Allgemeintoleranzen, Toleranzen für Form und Lage ohne einzelne Toleranzeintragung, 1991
- [4] DIN EN ISO 8015: Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Grundlagen – Konzepte, Prinzipien und Regeln, 2011

- [5] DIN EN ISO 22081: Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Geometrische Tolerierung – Allgemeine geometrische und Größenmaßspezifikationen, 2021
- [6] DIN ISO 16792: Technische Produktdokumentation – Praktische Anwendungen von digitalen Produktdefinitionsdaten, 2025
- [7] DIN 2769: Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Allgemeintoleranzen – Tabellenwerte für geometrische Toleranzen und Toleranzen für Längen- und Winkelgrößenmaße ohne individuelle Toleranzangabe, 2023
- [8] DIN ISO 20457: Kunststoff-Formteile – Toleranzen und Abnahmebedingungen; Text Deutsch und Englisch, 2021

Wolfgang Steger
Kristin Paetzold-Byhain

Technische Universität Dresden

Christian Lipp
Peter Robl

Siemens AG

Thorsten Engelke
Bernhard Wegner

Siemens Energy GmbH

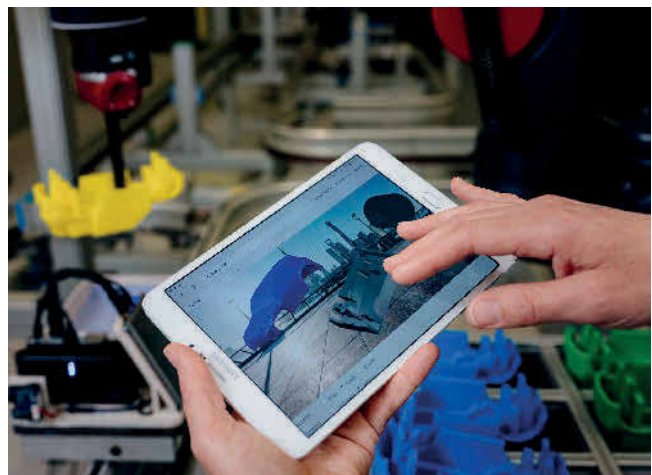
Kontakt:
Wolfgang Steger
Tel. (03 51) 4 63 – 3 32 91
wolfgang.steger@tu-dresden.de

Angriffssicherheit von technischen Gesamtsystemen

Im Sommer startet eine neue Forschungsgruppe an der Universität Paderborn, die sich mit der Sicherheit sogenannter cyber-physischer Systeme beschäftigt. Dabei handelt es sich um technische Systeme, die nur durch ihre Vernetzung über die IT und das Internet funktionieren. Cyber-physische Produktionssysteme verbinden dabei Maschinen, Sensoren und Software und steuern industrielle Prozesse in Echtzeit. Doch mit der Digitalisierung wächst auch das Risiko: Hacker können in solche Systeme eindringen und enormen materiellen Schaden anrichten. Die neu eingerichtete Forschungsgruppe Modid (Eigenschreibweise: MO-DID) will diesen Gefahren an der Schnittstelle von „Cyber-Welt“ und physischem Maschinenbau begegnen.

„Unser Ziel ist es, Sicherheit bereits beim Design der Systeme zu berücksichtigen. Dafür entwickeln wir Abwehrstrategien, bei denen wir Angriffe auf Teilsysteme von vornherein einkalkulieren“, erklärt Prof. Dr. Eric Bodden vom Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn, der die Forschungsgruppe leitet. Das Team arbeitet interdisziplinär: „Informatik, Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften forschen gemeinsam – ganz im Geiste von Heinz Nixdorf – in unseren Innovations- und Produktionslaboren“, ergänzt Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler als stellvertretende Leiterin der Forschungsgruppe. So werde nicht nur der technische Aspekt, sondern auch die wirtschaftliche und organisatorische Seite der Sicherheit berücksichtigt.

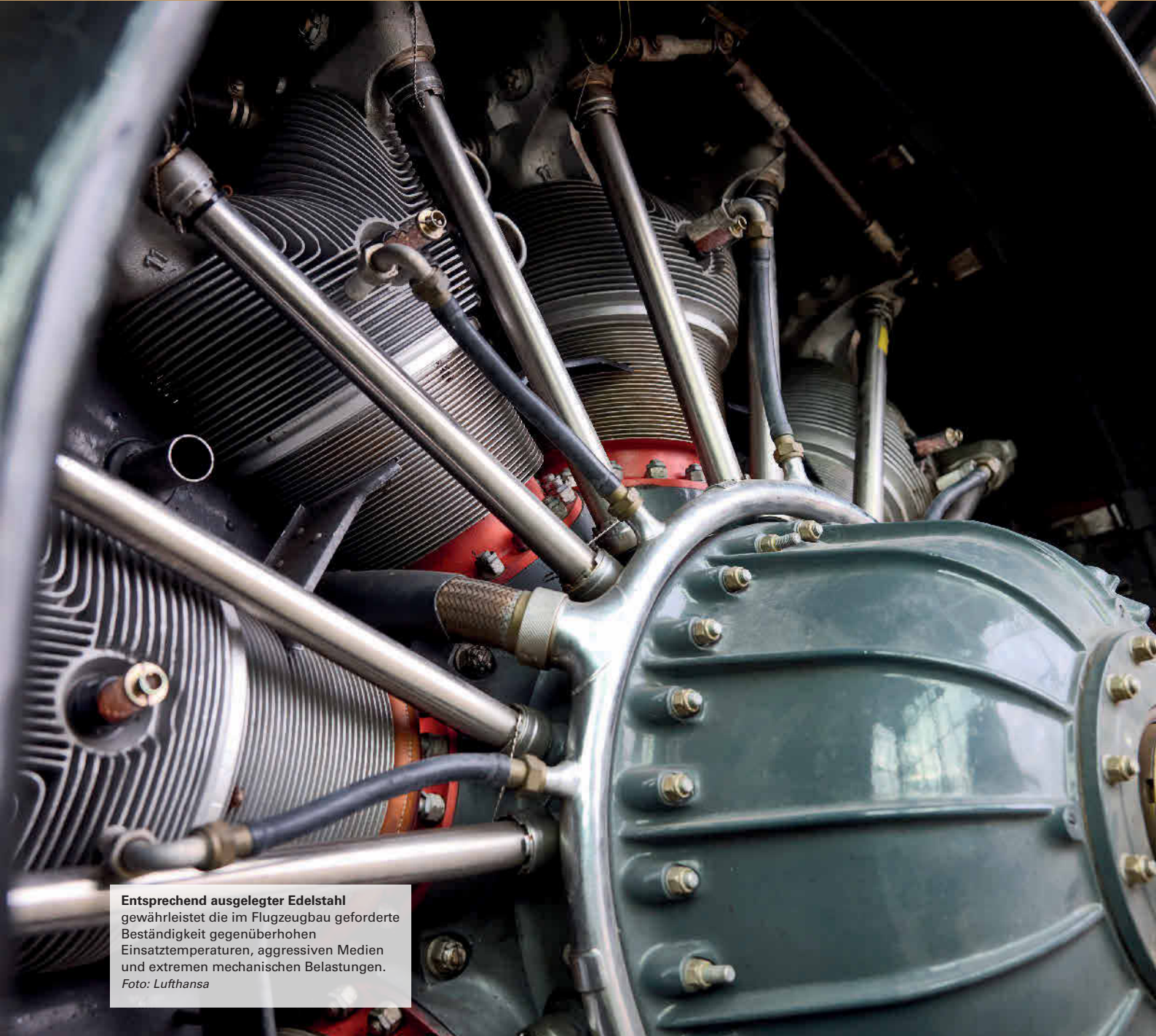
Der Ansatz der Wissenschaftler heißt „Defense in Depth“. Statt nur eine Cybersicherheitsbarriere einzubauen, entstehen gleich mehrere Schichten. Erfolgreiche Angriffe werde es immer geben,



Ziel der DFG-Forschungsgruppe Modid ist es, Sicherheit schon beim Design der Systeme zu berücksichtigen. Bild: Universität Paderborn/Besim Mazhqi

so Bodden. Aber selbst wenn eine Schicht durchbrochen werde, bleibe die nächste aktiv. Das erhöhe die Widerstandsfähigkeit der Systeme deutlich und ermögliche vor allem auch eine Vorhersage der Widerstandsfähigkeit des Systems unter verschiedenen Angriffsbedingungen. Gefördert wird die Arbeit von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) mit rund 4 Mio. Euro für eine Dauer von zunächst vier Jahren. eric.bodden@uni-paderborn.de

Fachteil Ingenieur-Werkstoffe



Entsprechend ausgelegter Edelstahl
gewährleistet die im Flugzeugbau geforderte
Beständigkeit gegenüber hohen
Einsatztemperaturen, aggressiven Medien
und extremen mechanischen Belastungen.
Foto: Lufthansa

STAHL

Stahllösungen für
sicherheitskritische
Anwendungen

WERKSTOFFFORSCHUNG

Materialwissen über
Unternehmensgrenzen
hinweg nutzen

KLEBEN

Trennbare
Klebeverbindung für
schlanke Displays



Bild 1 Flugzeugbau – ob von zivilen oder militärischen Maschinen – stellt höchste Anforderungen an die eingesetzten Werkstoffe: Gewicht, mechanische Belastbarkeit, Temperatur-, Oxidations- und Korrosionsbeständigkeit sind ausschlaggebend für die Materialwahl. Foto: WZV/KI generiert

Hochleistungswerkstoffe für Sicherheit und Effizienz im Flugzeugbau

Edelstahl im Flugzeugbau - gezielt eingesetzt

Der Flugzeugbau zählt zu den anspruchsvollsten Anwendungsfeldern moderner Werkstofftechnik. Neben Gewicht und Festigkeit spielen insbesondere Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit eine entscheidende Rolle für die Materialauswahl. Edelstahl rostfrei nimmt dabei trotz seines vergleichsweise hohen Gewichts eine wichtige Stellung ein. Vor allem in sicherheitskritischen und hochbelasteten Bereichen überzeugt der Werkstoff durch seine spezifischen Eigenschaften und seine langfristige Zuverlässigkeit.

Heute ist die Lufthansa die größte Airline-Gruppe Europas und die viertgrößte weltweit. Das Unternehmen wurde 1926 als Deutsche Luft Hansa AG durch die Fusion der Junkers Luftverkehr AG mit der Deutschen Aero Lloyd gegründet. Noch im selben Jahr erfolgte der Erstflug der Fluglinie mit dem bis heute ikonischen Markenlogo auf dem

Seitenleitwerk, dem weißen Kranich auf blauem Grund.

50 Jahre später, im Jahr 1976, setzte der Überschalljet Concorde mit seinem ersten Flug einen weiteren Meilenstein in der Geschichte der Passagierflugzeuge und wurde noch im gleichen Jahr im Liniendienst eingesetzt.

Kein Linienflugzeug war jemals schneller, doch fehlende Wirtschaftlichkeit und ein folgenschwerer Unfall besiegelten be-

reits knapp 25 Jahre später das Ende dieses Flugzeugs der Superlative.

Der weltweite Erfolgskurs von Flugzeugen aller Art wurde dadurch jedoch nicht gestoppt, sondern mit konstant steigendem Passagieraufkommen fortgeschrieben: 2024 reisten weltweit 9,5 Milliarden Menschen an Bord eines Verkehrsflugzeugs, neun Prozent mehr als ein Jahr zuvor (Quelle Flugverkehrsverband ACI World). Durch den Aufbau neu-

er Flugzeugflotten, insbesondere im asiatisch-pazifischen Raum, sowie durch verstärkte Investitionen in Militärflugzeuge verzeichnen die Hersteller eine kontinuierlich steigende Anzahl an Flugzeugbestellungen.

Die Wahl der Materialien

Seitdem es den Flugzeugbau gibt, kommen dort sehr unterschiedliche Werkstoffe zum Einsatz, darunter auch Edelstahl. Im Vergleich mit Titan, Aluminium, Verbundwerkstoffen oder Kunststoff scheidet Edelstahl rostfrei allerdings im zivilen Flugzeugbau gewichtsbedingt für viele Anwendungsbereiche aus.

Für Zivilflugzeuge haben möglichst viele Zyklen – mit jeweils einem Start und einer Landung – höchste Priorität. Geringsstmögliches Gewicht und damit niedrigere Treibstoffkosten, große Reichweiten, Verringerung des CO₂-Ausstoßes durch alternative Antriebssysteme und effizientere Triebwerke sowie Recyclingfähigkeit der Komponenten sind überdies entscheidende Kriterien bei der Materialwahl. Bei Militärflugzeugen hingegen stehen Robustheit und Verarbeitungseigenschaften bei Reparaturen im Feldeinsatz im Vordergrund. Deshalb wird Edelstahl rostfrei in Militärmaschinen deutlich umfangreicher und auch in strukturnahen Bereichen eingesetzt. Die verwendeten Werkstoffe müssen neben den strengen Luftfahrtnormen wie DIN EN 9100, FAR/EASA CS-25, ISO und den militärischen Normen wie MIL-DTL-Spec, AMS, NAS, STANAG sicherstellen, dass alle Komponenten, vom Triebwerk bis zur Struktur, den strengen Anforderungen der Luftfahrtbehörden wie EASA oder FAA entsprechen.

Gezielter Materialeinsatz in Struktur und Technik

Flexibilität und Festigkeit des Materials unter hohem Druck sind für lang anhaltende Leistungsfähigkeit entscheidend. Enorme Kräfte wirken auf tragende Strukturbauteile wie Flügelkästen ein, die Rumpf und Flügel über Holme, Rippen und Beplankung für maximale Stabilität miteinander verbinden.

Das Fahrwerk muss beim Landen viele Tonnen Landegewicht sowie harte Stöße aufnehmen und dabei gleichzeitig dauerhaft funktionsfähig bleiben. Triebwerksaufhängungen müssen bei einem Großraumflugzeug wie dem A380 einem



Bild 2 Im Jahr 2026 feiert die Lufthansa ein bedeutendes Jubiläum: Vor 100 Jahren am 6. Januar 1926 wurde die Deutsche Luft Hansa AG gegründet und bereits am 6. April desselben Jahres erfolgte der Erstflug. Foto: Lufthansa

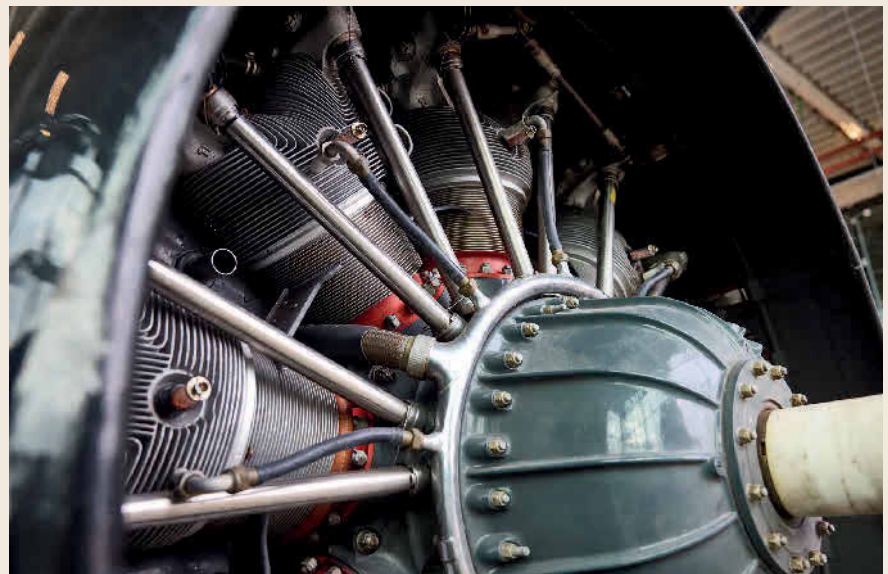


Bild 3 Entsprechend ausgelegter Edelstahl gewährleistet die im Flugzeugbau geforderte Beständigkeit gegenüber hohen Einsatztemperaturen, aggressiven Medien und extremen mechanischen Belastungen. Foto: Lufthansa

Schub von über 120 000 PS standhalten. Hydraulik- und Kraftstoffleitungen erfordern zudem hohe Korrosionsbeständigkeit sowie anspruchsvolle Biegeprozesse bei der Herstellung der hochpräzisen Rohrgeometrien. Während die Primärstruktur von Flugzeugen überwiegend aus Aluminium und zunehmend auch aus Titan gefertigt wird, kommen für Rumpfhaut und Tragflächenstruktur Glasfaserverbundwerkstoffe (CFK) oder Aluminium zum Einsatz.

Für zahlreiche Komponenten setzen Flugzeugbauer wie Airbus, Boeing, Bombardier oder Embraer und Triebwerkshersteller wie MTU, Rolls-Royce oder GE Aerospace jedoch gezielt auf Bleche, Bänder, Drähte, Stabstahl oder Schmiedeteile aus Edelstahl, um spezifische Anforderungen zuverlässig zu erfüllen.

Korrosionsbeständige nichtrostende Stähle wie die Güten 1.4044, 1.4546 oder 1.4548 werden beispielsweise für komplexe Rohrsysteme der Hydraulik- und Kraftstoffsysteme eingesetzt. Auch bei den in

Kritische Rohrsysteme

Korrosionsbeständige nichtrostende Stähle wie die Güten 1.4044, 1.4546 oder 1.4548 werden beispielsweise für komplexe Rohrsysteme der Hydraulik- und Kraftstoffsysteme eingesetzt. Auch bei den in



Bild 4 Nieten und Schrauben aus hochfesten Edelstahl-Legierungen verbinden häufig die Fahrwerks-, Flügel- und Triebwerksteile im Flugzeugbau. Foto: Lufthansa



Bild 5 Produktion von Edelstahlprofilen, die zur geforderten Sicherheit der Flugzeuge beitragen, zum Beispiel als Befestigungselemente oder hitzefeste Strukturbauteile. Foto: Montanstahl



Bild 6 Hohlprofile aus Edelstahl Rostfrei gewährleisten die Funktionalität von Flugzeugen. Foto: Montanstahl

diesen Systemen eingesetzten Fittings und Ventilgehäusen wählen Konstrukteure von Verkehrsflugzeugen wie A320, A330, A350 oder Boeing 787 häufig diese Sorten. Die korrosions- und hitzebeständigen Edelstahlgüten 1.4541 und 1.4550 sind gefragte Werkstoffe beim Bau von Hochdruck- und Spezialrohren für Hydraulik-, Kraftstoff- und Pneumatiksysteme – einschließlich der sogenannten Zapfluftsysteme (Bleed Air).

Für Kabinen- und Versorgungssysteme wie Wasser- und Abwasserrohre, Halterungen und Galley-Strukturen gelten die Edelstahlgüten 1.4301 und 1.4401 aufgrund der hohen Anforderungen an Hygiene, Robustheit und Verschleißfestigkeit als bewährter Standard.

Drähte und Profile

Drähte, Seile oder Gewebe aus Edelstahl der Güten 1.4310, 1.4404 und 1.4980 sind im Flugzeugbau für verschiedene kritische Komponenten wie Befestigungen, Verbindungen oder Versteifungen unverzichtbar. Kaltgestauchte Stäbe oder gezogener Draht aus hochfesten Edelstahlliegierungen werden zu Schrauben, Bolzen, Dichtungsscheiben, Muttern und Nieten verarbeitet, die Fahrwerks-, Flügel- und Triebwerksteile verbinden. Als Blitzschutz für Rumpf und Tragflächen aus Verbundwerkstoffen wie Glasfaser oder Carbon ist hochwertiges Edelstahlgewebe weltweit etabliert.

Triebwerkseinläufe und -auslässe sind mit speziellen Akustik-Materialien aus Edelstahlgewebe ausgekleidet, die den Lärm absorbieren und damit zur Reduzierung der Emissionen beitragen. Hochleistungs-Edelstahlprofile übernehmen darüber hinaus vielfältige Aufgaben, etwa als triebwerksnahe Halterungen, Fahrwerksteile oder hitzefeste Strukturbauteile.

Komplexe Schmiedeteile

Das hohe Festigkeits-Gewichts-Verhältnis und die außergewöhnliche Langlebigkeit beispielsweise von Edelstahl der Güte 1.4542 (17-4 PH) erfüllt strengste Sicherheitsstandards für tragende Anwendungen. Schmiedeteile aus diesem Edelstahl gewährleisten dank optimaler Gefügestruktur und ausgezeichneter mechanischer Eigenschaften die geforderte Sicherheit.

Hydraulikkronen, Bremssättel oder Fahrwerksteile sowie komplexe Monoblockteile für Aktoren sind typische Beispiele für diesen Einsatzbereich.



Bild 7 Als Blitzschutz für Rumpf und Tragflächen aus Verbundwerkstoffen wie Glasfaser oder Carbon ist hochwertiges Edelstahlgewebe weltweit etabliert. Foto: GKD

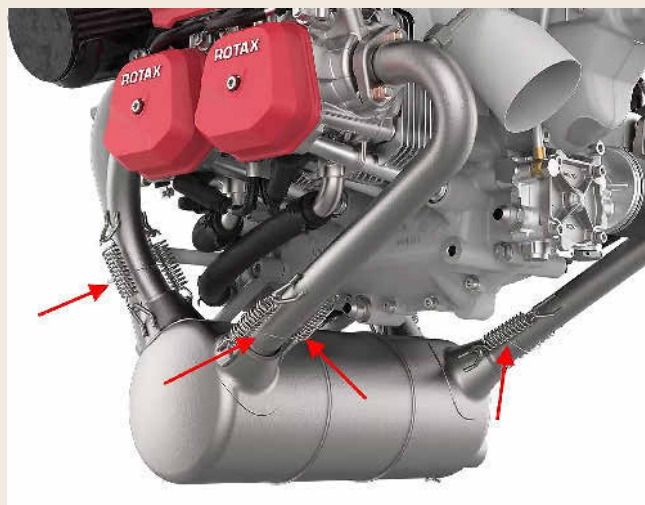


Bild 8 Drähte oder Gewebe aus Edelstahl sind im Flugzeug- und Ultraleichtflugzeugbau für verschiedene kritische Komponenten unverzichtbar – wie hier als Sicherungsdraht. Foto: Pilot Shop 24

WARENZEICHENVERBAND EDELSTAHL ROSTFREI E.V.

Mit der Patentierung von nichtrostendem Stahl trat im Jahre 1912 ein neuer Werkstoff seinen bis heute ungebrochenen Siegeszug an. Erster sprichwörtlicher Höhepunkt seiner Karriere war 1929 die Dachverkleidung des Chrysler Building in New York, damals das höchste Gebäude der Welt. Heute sind weltweit über 120 verschiedene Edelstahlsorten im Einsatz.

Schon früh zeigte sich angesichts des rasch steigenden Umfangs der Werkstoffgruppe die Notwendigkeit, Halbzeuge und Endprodukte, die aus anwendungsspezifisch ausgewähltem Edelstahl gefertigt wurden, sicher zu identifizieren. Bereits 1958 wurde deshalb das Markenzeichen Edelstahl Rostfrei eingeführt, um Produkte qualitätsbewusster Hersteller, Verarbeiter und Anbieter entsprechend und eindeutig zu kennzeichnen. Als Vergabestelle dieses Qualitätssiegels wurde zwei Jahre später der Warenzeichenverband Edelstahl Rostfrei e.V. (WZV) ins Leben gerufen. Mit über 1000 überwiegend mittelständischen Mitgliedsunternehmen ist er bis heute Sprachrohr und Servicepartner jener Firmen, die das international geschützte Markenzeichen als Siegel für ihr Qualitätsversprechen führen.

Im Mittelpunkt der Vergabe stehen die anwendungsbezogen richtige Werkstoffwahl und die sachgerechte Be- und Verarbeitung. Per Satzung verpflichten sich die Mitgliedsunternehmen zu dieser beispiellosen Qualitätsoffensive, die für anspruchsvolle Kunden eine unverzichtbare Orientierungshilfe ist. Firmen, die berechtigt sind, das eingetragene Markenzeichen Edelstahl Rostfrei zu verwenden, vermitteln das sichere Gefühl eines Top-Anbieters, der Wert auf Werkstoffqualität und nachhaltige Sicherheit der Verarbeitung legt.

Intensiv überwacht der WZV deshalb die ordnungsgemäße Nutzung des Qualitätssiegels. Denn längst hat das internationale Renommee des Markenzeichens Label-Piraterie hervorgerufen. Konsequenter unterbindet der WZV solches Vorgehen – wenn es sein muss, auch mit juristischen Mitteln. Regelmäßig werden Firmen und Anbieter abgemahnt, die Produkte mit dem Qualitätssiegel bewerben, ohne sich den damit verbundenen Auflagen zu unterwerfen. Jüngst erst wurde in China der Genehmigung eines zum Verwechseln ähnlichen Qualitätssiegels widersprochen.

Gesicherte Verfügbarkeit und Nachhaltigkeit

Die Bandbreite der Einsatzfelder von hochleistungsfähigen Edelstählen unterstreicht die Bedeutung einer anwendungsspezifischen Werkstoffauswahl. Die im Flugzeugbau geforderte Beständigkeit gegenüber Einsatztemperaturen von bis zu 1300 Grad Celsius, aggressiven Medien und extremen mechanischen Belastungen gewährleistet entsprechend ausgelegter Edelstahl Rostfrei.

Seine temperaturunabhängige Festigkeit, hohe Steifigkeit sowie ausgezeichnete Korrosions- und Oxidationsbeständigkeit verleihen ihm eine außergewöhnliche Robustheit. Die guten Verarbeitungs- und Schweißigenschaften bewähren sich nicht nur während der Herstellung, sondern auch über die gesamte Lebensdauer der Flugzeuge hinweg bei Wartung und Reparatur.

Die gesicherte Verfügbarkeit zertifizierter Edelstähle aus Europa bietet der international stark im Wettbewerb stehenden Flugzeugindustrie zudem die notwendige Planungssicherheit.

Deutlich preisgünstiger als Titan und vollständig recycelbar, bleibt Edelstahl Rostfrei im Flugzeugbau somit auch künftig ein wichtiger Werkstoff für anspruchsvolle Anwendungen. ■



Bild 1 Kriegerische Auseinandersetzungen, neue Bedrohungsszenarien und politische Umbrüche veranlassen immer mehr Länder in der ganzen Welt, ihre Abschreckungs- und Verteidigungsfähigkeit zu erhöhen. Foto: Dillinger KI-generiert

Integrierte Stahlkompetenz für moderne Verteidigungssysteme weltweit

Stahl- und Schmiedelösungen für sicherheitskritische Anwendungen

Die steigenden sicherheitspolitischen Anforderungen führen weltweit zu einer wachsenden Nachfrage nach leistungsfähigen Werkstoffen und Komponenten für die Rüstungsindustrie. Hochfeste Stähle und präzise gefertigte Schmiedeteile bilden dabei die Grundlage für zuverlässige und belastbare Systeme. Die Unternehmen der SHS-Gruppe bündeln ihre Kompetenzen entlang der gesamten Wertschöpfungskette und bieten integrierte Lösungen aus einer Hand. Damit entstehen maßgeschneiderte Werkstoff- und Fertigungskonzepte für anspruchsvolle militärische und zivile Anwendungen.

Kriegerische Auseinandersetzungen, neue Bedrohungsszenarien und politische Umbrüche veranlassen immer mehr Länder in der ganzen Welt, ihre Abschreckungs- und Verteidigungsfähigkeit zu erhöhen. Insbesondere in Europa hat die wachsende Wahrnehmung von Bedrohungen zu einem Umdenken in der Sicherheitspolitik geführt: Deutschland und seine Partner verstehen Verteidigung wieder als elementaren Bestandteil ihrer nationalen Existenz.

Die mit der weltweiten Wiederaufrüstung einhergehende Nachfrage nach Panzern, klassischen Waffensystemen, Munition und neuen Technologien stellt die Rüstungsindustrie vor große Aufgaben und erhöht gleichzeitig den Bedarf an leistungsfähigen Materialien erheblich.

Integrierte Lieferketten für Hochleistungsstähle

Bei den zu ihrer Bewältigung benötigten Stahl- und Schmiedelösungen vertrauen

führende deutsche und internationale Rüstungshersteller auf Vormaterial und Komponenten der drei Unternehmen der SHS-Gruppe (SHS – Stahl-Holding-Saar): Aktiengesellschaft der Dillinger Hüttenwerke, Saarstahl Aktiengesellschaft und Saarschmiede GmbH Freiformschmiede. Die einzigartige Kombination von Stahlherstellung, Grobblechwalzwerk, Stabwalzwerk und Schmiede unter einem Dach macht das Trio nach eigenen Angaben seit Jahren zu gefragten Lieferanten für viele Produkte der Rüstungsindustrie und ermöglicht zugleich eine hohe Flexi-

bilität bei kundenspezifischen Anforderungen.

Dillinger liefert seit vielen Jahren von der Bundeswehr nach TL 2350-000 (TL=Technische Lieferbedingungen) zugelassene Panzerstähle der Marke Difender an die führenden Hersteller von Rad- und Kettenfahrzeugen. Neben der Bundeswehrrnorm für die deutschen Hersteller erfüllen diese hochlegierten Vergütungsstähle auch die einschlägigen nationalen und internationalen Normen der Bündnis- und NATO-Partner. Darüber hinaus hat Dillinger für diese Panzerstähle zahlreiche Kunden-, Projekt- und Behördenzulassungen.

Heute verkauft das Unternehmen mit Hauptsitz in Dillingen, Saarland, über zehn verschiedene Difender-Güten nach Datenblatt in Dicken von sechs bis 150 mm und in fein abgestuften Härtegraden von 270 bis 600 HBW. Neun dieser Güten sind von der Bundeswehr nach TL 2350-0000 zugelassen, sodass ganze Fahrzeuge mit diesen Güten gebaut werden können und der Bedarf nahezu vollständig abgebildet wird.

Dieses Vollsortiment macht Dillinger nach eigener Aussage zum einzigen umfassend zugelassenen Lieferanten in Deutschland.

Die Panzerstähle werden sowohl im militärischen als auch im zivilen Bereich gleichwertig eingesetzt. Die an den beiden Produktionsstandorten, Dillingen und Dünkirchen, Frankreich, zugelassene Herstellung der Difender Stähle gewährleistet hohe Fertigungskapazitäten und eine verlässliche Versorgung auch bei steigender Nachfrage.

Deutsches Vollsortiment mit Bestmarken

Difender Sicherheitsstähle zählen bei Beschuss und Anspregung zu den sichersten am Markt, da sie maximalen Schutz bieten. Exemplarisch hierfür steht Difender 500 als der am häufigsten verwendete und getestete Sicherheitsstahl mit der am Markt einzigartigen Dicke von bis zu 150 mm.

Bei gleicher Härte und Beschussanforderung kann er in der Regel nachweislich dünner verarbeitet werden. Diese geringere Grenzdicke ermöglicht gewichtsoptimierte Konstruktionen rundum gepanzerter Fahrzeuge für den militärischen oder zivilen Bereich und eröffnet zusätzliche Spielräume im Fahrzeugdesign.



Bild 2 Ballistische Prüfung: Difender Sicherheitsstähle zählen bei Beschuss und Anspregung laut Dillinger zu den sichersten am Markt. Foto: Dillinger



Bild 3 Neun Difender-Güten sind von der Bundeswehr nach TL 2350-0000 zugelassen, sodass ganze Fahrzeuge mit diesen Güten gebaut werden können. Hier im Bild der GTK Boxer. Foto: Rheinmetall

Dillinger kann die Difender Panzerstähle außer in den militärischen Standardabmessungen auch in wesentlich größeren Breiten (über drei m) und Längen (mehr als 20 m) produzieren – für eine verschnittarme und somit kostenoptimierte Produktion auch in kundenspezifischen Wunschmaßen.

Diese in Dicke, Breite und Länge maßgeschneiderten Panzerstahlformate leisten als Boden- und Dachbleche für militärische Rad- und Kettenfahrzeuge oder geschosshohe Gebäudepanzerungen einen entscheidenden Beitrag zur Sicherheit. Zugleich erschließen größtmögliche Blechabmessungen bei gleichzeitiger Erfüllung schärfster Ebenheitsanforderungen Konstrukteuren wertvolles Optimierungspotenzial für Systemkomponenten. Unterstützt wird dies durch die guten Verarbei-

tungseigenschaften der Difender Panzerstähle.

Versuchsreihen namhafter unabhängiger Unternehmen belegen sehr gute Werte beim Trennen, Kanten, Fügen und bei der mechanischen Bearbeitung. Beim Kaltkanten ermöglichen die Panzerstähle von Dillinger Grenzdicken, die nach Aussage des Herstellers zu den besten am Markt zählen. Bei der Schweißseignung ist Difender, so sagt das Unternehmen, Bester seiner Klasse.

Schulterchluss für kundenspezifisches Optimum

Führend ist Dillinger nach eigenen Angaben auch in der fachkundigen Unterstützung bei Fragen zu Materialwahl, Verarbeitung und Umsetzung der Konstruktion.



Bild 4 Aus Stabstahl der Güte 42CrMo4 von Saarstahl wird das Vorprodukt für die Hülle des NATO-Geschosses 155 mm Großkaliber hergestellt. Foto: Rheinmetall

Die mit den spezifischen Anforderungen der Rüstungsindustrie seit vielen Jahren vertrauten Experten der technischen Kundenberatung stehen Konstrukteuren kompetent zur Seite.

Gemeinsam wird so das Maximum aus dem Material für die jeweilige Anwendung herausgeholt und in konkrete Lösungen überführt.

Im engen Austausch mit den Entwicklungsabteilungen aller Fahrzeughersteller für militärische Einsätze betreibt Dillinger gezielte Entwicklungsarbeit, um den steigenden Anforderungen mit neuen, in dieser Form am Markt bislang nicht verfügbaren Werkstoffgütern gerecht zu werden. Beispielhaft für den Schulterschluss mit der Rüstungsindustrie steht die kundenspezifische Entwicklung des Difender 270 für militärische Fahrzeuge ausländischer Abnehmer.

Der legierte höchstfeste Vergütungsstahl Difender 600PH eignet sich besonders für Warmumformungsprozesse zur Herstellung von sehr komplexen Bauteilen. Dillinger bietet diesen Werkstoff in bis zu 25 mm Dicke an. Auf Kundenwunsch sind auch noch größere Dicken realisierbar – erste Rüstungshersteller haben hieran bereits Interesse bekundet.

Auch bei Herstellern von zivilen Anwendungen wie Geldtransporter, Limousinen, Schießstände oder Gebäudeschutz für Botschaften, Banken oder Regierungsgebäude sind die fundierte technische Beratung der Experten von Dillinger und gemeinsame Entwicklung stark gefragt. Forschung und Entwicklung auf Basis von

tieferem Verständnis metallurgischer Modelle sowie hochentwickelte Fertigungsprozesse machen Dillinger auch für Hersteller von Seefahrzeugen, Fregatten, Korvetten und U-Booten zum Partner der Wahl. Seit über 30 Jahren hat Dillinger die Zulassung für die U-Boot-Stähle HY-80 und HY-100.

Schlüsselkomponenten für den Naval-Bereich der NATO

Mit der Saarschmiede ist ein weiteres Unternehmen der SHS-Gruppe langjährig bewährter Lieferant für U-Boot- und Rüstungshersteller. Als weltweiter Anbieter von Sonderwerkstoffen, Superlegierungen und großen Anlagenkomponenten sowie als Freiformschmiede setzt die Saarschmiede nach eigenen Angaben Maßstäbe. Grundlage dieses Erfolgs seien das breite Anlagenspektrum sowie die ganzheitlichen Fertigungsprozesse von der Erschmelzung über Schmiedung, Wärmebehandlung und Ultraschallprüfung bis hin zur Weiterverarbeitung.

Technische Beratung sowie Weiterentwicklungen oder Modifikationen in Zusammenarbeit mit den Konstrukteuren der Rüstungsindustrie runden das Portfolio ab. Beispielhaft dafür steht die sehr anspruchsvoll herstellbare Edelstahlgüte 1.3964, die aufgrund ihrer nichtmagnetischen Eigenschaften eine zentrale Rolle im U-Boot-Bau spielt.

Eine wichtige Rolle nimmt die Saarschmiede auch bei Herstellung und

Weiterverarbeitung der Nickel-Chrom-Superlegierungen Inconel 600 und Inconel 625 aus einer Hand ein. Großformatige Druckgefäße für nukleare Antriebe werden heute als nahtlose Bauteile geschmiedet, was entscheidende Vorteile in Bezug auf Sicherheit und Integrität bietet.

Vormaterial für Großkaliber- und Artilleriemunition

Die Muttergesellschaft der Saarschmiede, Saarstahl, zählt mit ihren Standorten in Völklingen, Burbach und Neunkirchen zu den bedeutenden Herstellern von Langprodukten aus Stahl. Namhafte Rüstungshersteller vertrauen auf diese Kompetenz bei der Bereitstellung von Vormaterialien für Großkaliber-, Mittelkaliber-, Mörser- und Infanteriemunition. Ein besonderer Fokus liegt auf der Herstellung von Stahl im Elektrolichtbogenofenprozess, der auf 100 % recyceltem Material basiert. Dieses Verfahren reduziert die CO₂-Emissionen im Vergleich zur klassischen Hochofenroute erheblich und gewinnt vor dem Hintergrund steigender Nachhaltigkeitsanforderungen zunehmend an Bedeutung. Die Weiterverarbeitung zu kundenspezifischen Vorprodukten erfolgt durch Schmieden, Pressen oder mechanische Bearbeitung. Neben Munition finden die entwickelten Stabstahlgüten auch Anwendung in Gewehrläufen sowie in hochbelasteten Bauteilen wie Bolzen für Ketten-systeme gepanzerter Fahrzeuge.

Drei Unternehmen – integrierte Kompetenz unter einem Dach

Für die Rüstungsindustrie ist die enge Zusammenarbeit der drei Unternehmen unter dem Dach der SHS-Gruppe weit mehr als die Summe ihrer Einzelkompetenzen. Rüstungshersteller profitieren von einer durchgängigen Wertschöpfungskette, die von der Stahlherstellung über die Weiterverarbeitung bis hin zur fertigen Komponente reicht. Dillinger, Saarstahl und Saarschmiede vereinen langjährige Erfahrung, hohe Produktionskapazitäten sowie ein breites Zulassungsspektrum. Diese Kombination macht sie zu verlässlichen Partnern für anspruchsvolle Projekte und sichert gleichzeitig die notwendige Flexibilität, um auf zukünftige Anforderungen der Rüstungsindustrie reagieren zu können. ■

Metallforschung für industrielle Transformation

Neue klimafreundliche Werkstoffe

Im Schwerpunktprogramm DaMic entwickeln Forschende nachhaltige metallische Werkstoffe für die Industrie von morgen. Ziel ist es, ökologische Verträglichkeit mit hoher Leistungsfähigkeit zu verbinden und gleichzeitig Recyclingprozesse zu verbessern. Auch Wissenschaftler der Bergische Universität Wuppertal sind an dem von der Deutsche Forschungsgemeinschaft geförderten Programm beteiligt.

Metallische Werkstoffe wie Stahl werden durch Schmelzen und Legieren hergestellt und durch Verfahren wie Gießen, Schmieden oder Schweißen in Form gebracht. Ihre Produktion verursacht aktuell 40 % aller industriellen Treibhausgasemissionen, zudem entstehen beim Abbau große Mengen schädlicher Nebenprodukte. Die metallischen Werkstoffe der Zukunft müssen daher nachhaltiger werden.

Das von der Deutsche Forschungsgemeinschaft geförderte Schwerpunktprogramm DaMic legt dafür die wissenschaftlichen Grundlagen. Im Mittelpunkt stehen digitale und datengesteuerte Methoden für das Materialdesign, mit denen sich Werkstoffe entwickeln lassen, die ökologisch verträglicher, besser recycelbar und dennoch leistungsfähig sind. Zwei Ansätze stehen im Fokus: Werkstoffe mit weniger Legierungselementen sowie Legierungen, die gegenüber Verunreinigungen aus Sekundärrohstoffen toleranter sind. An DaMic beteiligt sind unter anderem Forschende der Bergischen Universität Wuppertal.

Ein Teilprojekt unter Beteiligung von Prof. Dr. Arne Röttger untersucht neue Formen sogenannter Lean-Schnellarbeitsstähle (High Speed Steel, HSS), die vor allem für zerspanende Werkzeuge eingesetzt werden. Ziel ist es, mithilfe von Computersimulationen und maschinellem Lernen den Zusammenhang zwischen chemischer Zusammensetzung, Mikrostruktur und Eigenschaften zu optimieren und in einem digitalen Werkstoffmodell abzubilden. „Eine höhere Verschleißbeständigkeit oder verbesserte Eigenschaften wie zum Beispiel Festigkeit verlängern oft die Nutzungsdauer und ein mageres Legierungsdesign die Möglichkeit der einfacheren Rezyklierung dieser Stähle. Im Betrieb ist die Lebensdauer von HSS kurz. Das führt zu vielen Rezyklierzyklen und Mengen an jährlich recyceltem Material. Der potenzielle Nutzen neuer HSS ist damit erheblich“, betont Arne Röttger. Der identifizierte Werkzeugstahl wird anschließend hergestellt und getestet, um Leistung und Grenzen zu bewerten und weiter zu optimieren.



Im Schwerpunktprogramm DaMic erforschen Wissenschaftler*innen neue, nachhaltige metallische Werkstoffe und deren Herstellungsprozesse. Mit dabei sind auch drei Forschende der Bergischen Universität Wuppertal. Foto: Smarterpix / aFotostock

Umweltfreundliche Aluminiumlegierungen

Die nächste Generation umweltfreundlicher Aluminiumlegierungen für den 3D-Druck entwickelt ein Teilprojekt mit Dr. Silja Rittinghaus.

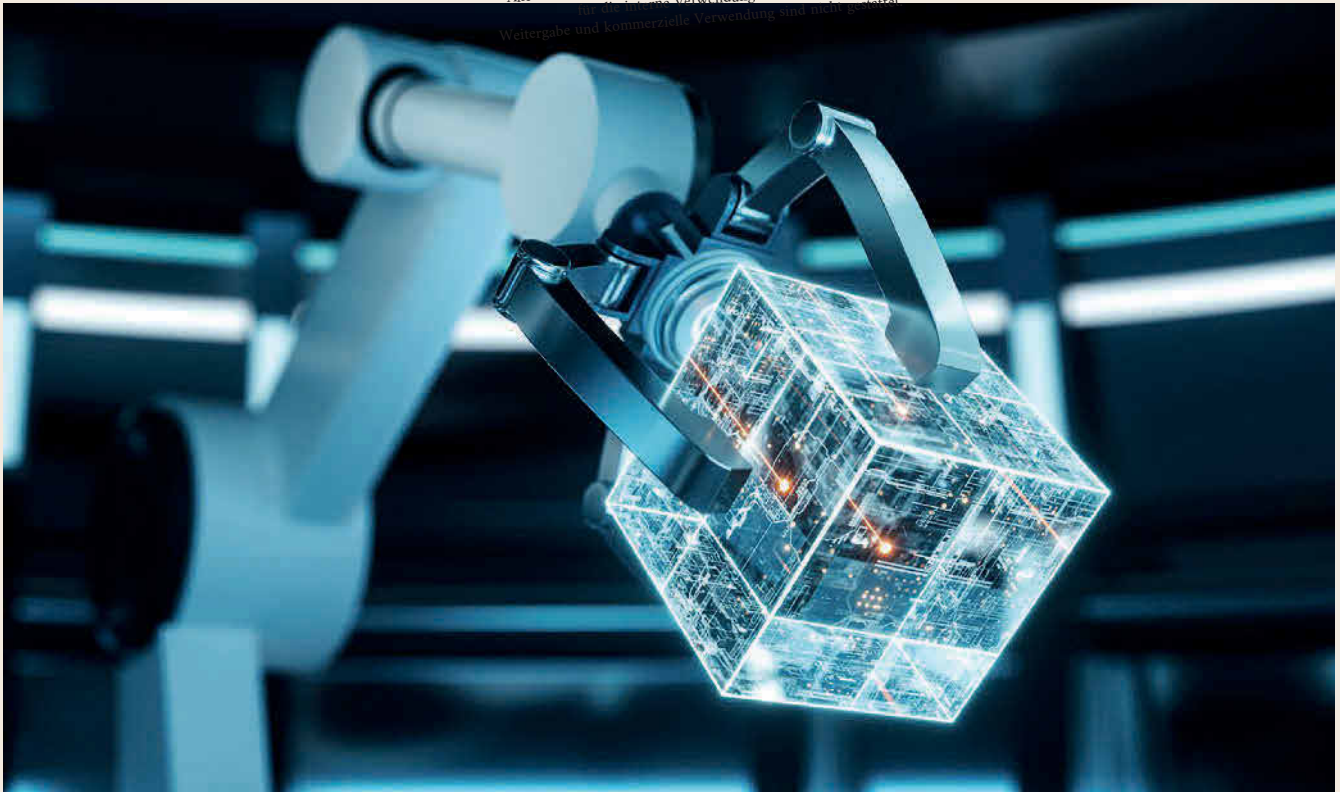
Herkömmliche Hochleistungslegierungen basieren häufig auf seltenen und teuren Elementen wie Scandium oder Lithium, was Herstellung und Recycling erschwert. Der Ansatz im Projekt setzt daher auf leicht verfügbare Legierungselemente.

Silja Rittinghaus: „Wir konzentrieren uns auf Aluminiumlegierungen mit leicht verfügbaren, unkritischen Legierungselementen, die leichter zu recyceln, nachhaltiger und dennoch stark genug für mechanisch anspruchsvolle Anwendungen sein können.“

Durch die Kombination von 3D-Drucktechnologien, Computermethoden und künstlicher Intelligenz untersucht das Team, wie sich Legierungen schneller optimieren lassen. Ziel ist es auch, einen Fahrplan für beschleunigte Legierungsentwicklung und eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft zu schaffen.

Crossover-Stähle, also Mischungen verschiedener rostfreier Stähle mit hohen Schrottanteilen, ermöglichen grundsätzlich eine Herstellung aus vollständig recyceltem Material, müssen jedoch noch umfassend untersucht werden. Verunreinigungen durch Begleitelemente können die Materialeigenschaften beeinträchtigen und Schäden verursachen.

Das Projekt unter Beteiligung von Prof. Dr. Jaan-Willem Simon analysiert daher, wie sich die Eigenschaften solcher Stähle gezielt verbessern lassen. „Mithilfe von Hochdurchsatz-Versuchen, bei denen sehr viele Varianten gleichzeitig statt nacheinander getestet werden, und künstlicher Intelligenz analysieren wir viele verschiedene Schrottmischungen, um zu verstehen, wie Verunreinigungen die Stahleigenschaften beeinflussen und wie sich Recyclingstahl trotzdem gezielt für Hochleistungsanwendungen einsetzen lässt“, erklärt Prof. Simon. ■



Im Projekt PMD-X-MAPRO gestalten Fraunhofer IESE und Fraunhofer IWM mit Unternehmen einen digitalen Materialdatenraum, um Materialwissen digital und über Unternehmensgrenzen hinweg nutzen zu können. Foto: Fraunhofer IWM, iStock-Jian Fan

Fraunhofer IESE und Fraunhofer IWM gestalten mit Unternehmen einen digitalen Materialdatenraum

Materialwissen digital und über Unternehmensgrenzen hinweg nutzen

Im Forschungsprojekt „Unternehmensübergreifende Materialdaten und Materialsimulation in der Produktion“, PMD-X-MAPRO arbeiten Forschung und Wirtschaft daran, Materialdaten digital und maschinenlesbar verfügbar zu machen. Ziel ist es, Informationen über Werkstoff-Eigenschaften und Fertigungsdaten so aufzubereiten, dass sie entlang der gesamten Lieferkette automatisch genutzt und ausgetauscht werden können. Beteiligt sind neben dem Fraunhofer-

Institut für Experimentelles Software Engineering IESE und dem Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM weitere Wirtschaftspartner: Siemens AG, SHS – Stahl-Holding Saar GmbH & Co. KGaA, tec4U-Solutions GmbH, credativ GmbH, Deutz AG.

Materialdaten sind zentrale Informationen, die in vielen Bereichen der Produktion gebraucht werden, etwa für Simulationen, zur Festlegung von Fertigungsparametern, zur Reduktion von Ausschuss oder zur Optimierung von Produktionszeiten. Bislang werden viele dieser Daten in nicht-maschinenlesbaren

Formaten wie PDFs oder gedruckten Tabellen weitergegeben. Das bedeutet viel manuelle Arbeit, Verzögerungen und Risiken durch Übertragungsfehler und Informationsverluste. Die Partner entwickeln im Projekt PMD-X-MAPRO digitale Lösungen, mit denen Materialdaten schon vor der physischen Anlieferung bereitstehen und bidirektional (also in beide Richtungen) entlang der Lieferkette ausgetauscht werden können. Dadurch sollen

Produktionsprozesse effizienter und zuverlässiger werden. Zudem können durch die Verfügbarkeit vertrauenswürdiger und maschineninterpretierbarer Daten gesetzliche Informations- und Nachweispflichten, wie digitaler Produktpass oder CO₂-Fussabdruck, einfacher erfüllt werden. Demonstriert wird die Machbarkeit an mehrstufig gefertigten Stahlbauteilen. Materialdaten an industrielle Datenräume anschlussfähig zu machen, ist deutlich

komplexer als die reine Konvertierung von Dateiformaten. Materialwissen muss so modelliert werden, dass Computer die Daten nicht nur lesen, sondern auch deren Bedeutung verstehen können: Um welche Werkstoffe handelt es sich? Welche Eigenschaften haben sie? Wie wurden sie hergestellt und wie geprüft? Um all diese Informationen zusammenhängend und strukturiert darzustellen, kommen im Projekt MAPRO Ontologien zum Einsatz. Damit lassen sich Daten aus unterschiedlichen Quellen, etwa aus ERP-Systemen, Laborprüfungen oder Simulationen, zu einem digitalen Gesamtbild zusammenführen. Solche semantischen Modelle ermöglichen es auch KI-Systemen, Daten mit ihrem Kontext zu interpretieren und in Entscheidungsprozesse einzubeziehen. In modernen Datenplattformen sind Ontologien gewissermaßen das Betriebssystem der digitalen Welt: Sie verbinden Daten, Prozesse und Anwendungen mit ihren realen Gegenständen und schaffen die Basis für durchgängige Workflows und intelligente Assistenzsysteme.

Digitale Zwillinge

Im Kern des Projekts steht der Aufbau digitaler Materialzwillinge. Dabei handelt es sich um digitale Abbildungen realer Materialien, die alle wichtigen Eigenschaften

und Kontextinformationen enthalten. Diese Zwillinge werden in datenraumfähige Strukturen eingebettet, damit sie zwischen Partnern ausgetauscht werden können.

Ein zentraler Punkt dabei ist die bidirektionale Kommunikation: Partner können Daten nicht nur erhalten, sondern auch zurückspielen und so gemeinsam an der Datenbasis arbeiten. Beispielsweise können Messdaten aus der Produktion direkt in den Digitalen Zwilling einfließen und ihn verbessern. Ziel ist ein Materialdatenraum, in dem Daten sicher geteilt werden können, ohne dass Unternehmen ihre Kontrolle über sensible Informationen verlieren.

Am Beispiel einer Nockenwelle werden Prüfdaten, Simulationsergebnisse und Lieferanteninformationen für drei verschiedene Anforderungen in einem semantischen Rahmen zusammengeführt: Der unternehmensübergreifenden Verifikation von Materialeigenschaften, der automatisierten Datenbereitstellung für digitale Produktpässe sowie der Ermittlung des CO₂-Fußabdrucks von Produkten. Für Industrieunternehmen reduziert sich dadurch der manuelle Aufwand für die Datenübertragung und -validierung. Gleichzeitig entsteht eine konsistente Datenbasis, auf der Entwicklungs- und Entscheidungsprozesse KI-gestützt ablaufen können.

Digitale Materialdatenräume

Als Konsortialführer bringt das Fraunhofer IESE umfassende Expertise im Bereich softwarebasierter und datengetriebener Systeme sowie in der digitalen Transformation industrieller Prozesse ein. Mit Eclipse BaSyx hat das Institut eine Industrie-4.0-Middleware entwickelt, die von zahlreichen produzierenden Unternehmen zur Realisierung Digitaler Zwillinge mit Verwaltungsschalen eingesetzt wird.

Darüber hinaus betreibt das IESE den AAS Dataspace for Everybody, in dem Unternehmen über Mandantenmodelle föderierte Datenräume für ihre Lieferketten aufbauen können. Durch den Rückgriff auf diese etablierten Standards und Open-Source-Technologien wird die Anschlussfähigkeit an bestehende Initiativen wie Catena-X und weitere Manufacturing-X-Umsetzungen sichergestellt.

Das Fraunhofer IWM entwickelt im Projekt die semantische Grundlage für den Materialdatenraum und kodiert das Domänenwissen der Materialwissenschaft in formalen Ontologien.

Diese Ontologien beschreiben die Beziehungen zwischen Werkstoffen, Herstellungsprozessen, Prüfverfahren und resultierenden Eigenschaften und verknüpfen sie mit den digitalen Materialzwillingen im Datenraum.

Damit entsteht eine Art „semantischer Betriebsschicht“ für Materialdaten: Unternehmen können ihre Datenquellen mit einem gemeinsamen Wissensmodell verbinden, Materialinformationen eindeutig interpretieren und automatisiert in Simulationen oder KI-Modelle integrieren. Auf diese Weise wird Materialwissen nicht nur digital verfügbar, sondern auch kontextualisiert, interoperabel und unmittelbar nutzbar für datengetriebene industrielle Prozesse.

Weitere Partner erstellen Schnittstellen zu Unternehmens-IT (z. B. PLM/ERP-Systeme), setzen adaptive Materialmodelle in der Industrie um oder integrieren Aspekte wie Nachhaltigkeit und Recyclingdaten direkt in die Materialzwillinge.

Förderhinweis

Das Projekt PMD-X-MAPRO wird über eine Laufzeit von einem Jahr vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) im Rahmen der Plattform MaterialDigital des BMFTR bis Ende Juni 2026 gefördert. ■

DREI FRAGEN AN YOAV NAHSHON VOM FRAUNHOFER IWM

Welches Problem löst das Projekt PMD-X-MAPRO?

PMD-X-MAPRO unterstützt Unternehmen dabei, Material- und Fertigungsdaten digital zugänglich, maschinenlesbar und über die gesamte Lieferkette hinweg interoperabel zu machen. Dies reduziert den manuellen Aufwand des Datenaustauschs, verbessert die Konsistenz der Datenbasis und eröffnet neue Möglichkeiten für Simulation, Optimierung und Zusammenarbeit.

Woraus besteht die Lösung genau?

Unsere Lösung ist ein digitaler Materialdatenraum, der zwei sich ergänzende Systeme kombiniert. Einerseits umfasst sie einen Fertigungsdatenraum auf Basis der Asset Administration Shell (AAS)-Technologie, wobei das Fraunhofer IESE Unternehmen bei der Einführung von Datenraumkonzepten unterstützt und Tools wie BaSyx zur leichteren Implementierung bereitstellt. Andererseits umfasst sie ein vom Fraunhofer IWM entwickeltes semantisches Ökosystem, das Ontologien wie PMDCo nutzt, um Wissensmanagement zu ermöglichen. Zusammen gewährleisten diese Komponenten einen sicheren Datenaustausch und eine aussagekräftige Dateninterpretation.

Welche Vorteile sind in der Praxis zu erwarten?

In der Praxis wird der Datenaustausch zwischen Unternehmen schneller und zuverlässiger, bei werkstoffintensiven Prozessen wird die Materialauswahl und Fertigungsoptimierung erleichtert, für die Simulation in Entwicklung und Konstruktion sind bessere Inputdaten zu erwarten. Gleichzeitig werden Datensilos und manuelles Datenhandling reduziert. So entsteht eine Grundlage für neue digitale Dienste und Geschäftsmodelle.



Bild 1 Die kontrollierte Ablösung einzelner Komponenten am Ende der Produktlebenszeit erleichtert sortenreine Recyclingprozesse und unterstützt so Kreislaufwirtschaft. Foto: AUMOVIO

Aumovio und tesa entwickeln neue Klebetechnologie

Trennbare Klebeverbindung für schlanke Displays

Die Integration von Displays in Fahrzeugen stellt Hersteller zunehmend vor neue Herausforderungen hinsichtlich Design, Reparierbarkeit und Nachhaltigkeit.

Aumovio und tesa präsentieren nun eine gemeinsam entwickelte Klebelösung, die diese Anforderungen miteinander verbindet. Das System ermöglicht schlanke Bauweisen, erleichtert Reparaturen und unterstützt gleichzeitig kreislauffähige Produktkonzepte.

Das Technologieunternehmen Aumovio und tesa, internationaler Hersteller innovativer Klebebänder und selbstklebender Produktlösungen, arbeiten künftig enger zusammen. Gemeinsam stellen die Partner eine neue Lösung für die mechanische Integration von Automotive-Displays vor, die gezielt auf die steigenden Anforderungen moderner Fahrzeuginnenräume zugeschnitten ist.

In der Fertigung von Automotive-Displays werden primär Klebeverbindungen

eingesetzt, um den steigenden Anforderungen an schlanke und möglichst dünne Rahmen gerecht zu werden. Gemeinsam mit tesa geht Aumovio nun einen Schritt weiter: Die neue Lösung verbindet modernste Klebetechnologie mit optimiertem Materialeinsatz und zukunftsorientierten Konzepten – sie ermöglicht eine kontrollierte, bei Bedarf lösbare Klebeverbindung, die Korrekturen während der Produktion und Reparaturen über den gesamten Produktlebenszyklus erleichtert. Dadurch eröffnet sich für Hersteller die Möglichkeit, nicht nur effizienter zu pro-

duzieren, sondern auch nachhaltiger zu wirtschaften.

Präzises Design trifft langlebige, selektiv lösbare Klebeverbindung

Das neue Verfahren nutzt eine roboterassistiert aufgetragene Klebelösung. Die Verbindung ist sofort belastbar und kann nahtlos in bestehende Fertigungslinien integriert werden. Gleichzeitig bleibt sie jederzeit kontrolliert lösbar, sodass Displaybaugruppen im Produktionsprozess oder

im Servicefall selektiv ausgetauscht und nachbearbeitet werden können – ohne das komplette Displaymodul ersetzen zu müssen. Dies reduziert nicht nur Materialeinsatz und Kosten, sondern erhöht auch die Flexibilität in der Fertigung.

Pavel Prouza, Leiter des Geschäftsbereiches User Experience (UX) bei Aumovio: „Die Kombination aus hochpräziser, automatisierter Applikation und gezielter Ablösbarkeit erweitert unseren Fertigungs- und Qualitätsprozess um einen wichtigen Baustein. Sie stärkt die Prozessstabilität unserer Serienfertigung, reduziert Materialverluste und unterstützt zugleich einen ressourceneffizienten Umgang mit hochwertigen Komponenten. Für den Endkunden ergibt sich darüber hinaus sogar die Möglichkeit, dass bei künftigen Reparaturmaßnahmen nur betroffene Einzelkomponenten kostenschonend getauscht werden müssen.“

„Diese Partnerschaft zeigt, wie innovative Materialtechnologie die Mobilität von morgen unterstützt. Gemeinsam mit Aumovio bieten wir automatisierte Klebeverbindungen an, die nicht nur dauerhaft halten, sondern auch gezielt wieder gelöst werden können – um effiziente Fertigung, längere Produktlebenszyklen und kreislauffähige Produktkonzepte zu ermöglichen. So unterstützen wir unsere Kunden dabei, ihre Nachhaltigkeitsziele in konkrete Produktlösungen zu übersetzen“, sagt David Caro, Head of Automotive bei tesa.

Nachhaltigere Displaylösung: Fest verbunden und trotzdem trennbar

Das neue System ist ein bedeutender Schritt in Richtung Zukunft, denn es verbindet die bewährten Vorteile viskoelastischer Klebeverbindungen mit Eigenschaften, die die Kreislauffähigkeit unterstützen: Die Verbindung benötigt keine Aushärtezeiten und kompensiert zuverlässig Materialausdehnungen über den gesamten im Automotive Umfeld üblichen Temperaturbereich. Dank vollautomatisierbarer Applikation lässt sie sich nahtlos in bestehende Fertigungslinien integrieren und unterstützt damit eine hohe Prozessstabilität. Mit einer Streifenbreite von lediglich 2 mm ermöglicht sie besonders schmale Displayränder, wie man sie von Smartphones kennt, und trägt so zu modernen, reduzierten Designkonzepten im Fahrzeuginnenraum bei.



Bild 2 Die gemeinsam von tesa und Aumovio entwickelte Klebelösung lässt sich vollautomatisiert in bestehende Fertigungslinien integrieren. Foto: AUMOVIO



Bild 3 Eine kontrollierte, bei Bedarf lösbare Klebeverbindung lässt Korrekturen während der Produktion und Reparaturen über den gesamten Produktlebenszyklus zu. Foto: AUMOVIO

Zugleich bleibt die Verbindung kontrolliert lösbar: Displaybaugruppen können im Produktionsprozess oder im Servicefall selektiv ausgetauscht und nachbearbeitet werden, ohne das komplette Displaymodul ersetzen zu müssen. Dies stellt einen wichtigen Schritt in Richtung ressourcenschonender Produktlebenszyklen dar.

Aumovio und tesa setzen dabei Klebebänder mit Debonding on Demand Technologie ein, die eine gezielte und einfache Trennung der Klebeverbindung ermöglicht. Das erleichtert nicht nur den gezielten Austausch einzelner Displayeinheiten während des Produktlebenszyklus, sondern unterstützt auch Recyclingprozesse am Ende der Fahrzeuglebensdauer.

Aumovio steht bereits mit Automobilherstellern in Gesprächen über die Umsetzung von Recycling- und Reparaturprogrammen für ausgewählte Komponenten. Die Lösung ermöglicht Kreislaufwirtschaft und leistet damit einen konkreten Beitrag zu Aumovios Nachhaltigkeitsstrategie, durch innovative Mobilitätslösungen langfristigen wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Mehrwert zu schaffen.

Mit dem offiziellen Start der Partnerschaft bereiten Aumovio und tesa nun die Serienintegration dieser neuen Lösung für das zweite Quartal 2026 vor. Damit rückt eine neue Generation von Displaylösungen näher, die Designfreiheit, Effizienz und Nachhaltigkeit miteinander verbindet. ■



Verbesserte, silanmodifizierte Polymer-Klebe- und Dichtstoffe können für zahlreiche Anwendungen eingesetzt werden, darunter die Verglasung von Fahrerinnen, die Verkleidung der Seitenwände und die Verklebung der Dachhaut bei Fahrzeugen sowie die Abdichtung von Nähten und Fugen.

Foto: Henkel AG & Co. KGaA

Henkel erweitert sein Portfolio nachhaltiger Kleb- und Dichtstoffe für Anwendungen im Innen- und Außenbereich von schweren Maschinen und Fahrzeugen: Der Dichtstoff Teroson MS 9381 HPT erfüllt strenge gesetzliche Anforderungen und verzichtet vollständig auf Zinn, Lösungsmittel, Isocyanate, Silikone und PVC. Gleichzeitig vereinfacht er die Verarbeitung und verbessert die Leistung im Vergleich zu älteren Materialgenerationen. Die UV-beständige Formulierung ist mit zahlreichen Substraten kompatibel und eignet sich somit für vielfältige Anwendungen – darunter Kabinenfensterverglasung, Seitenverkleidung und Dachhautverklebung sowie Naht- und Fugenabdichtung. „Mit der Einführung der Initiative ‚Respect the Planet, Rethink Design‘ im vergangenen Jahr hat Henkel sein Engagement für Lösungen bekräftigt, die Leistungsfähigkeit und Umweltverantwortung vereinen“, sagt Leandro Pedro, Global Head of Market Strategy Core and Value Segments bei Henkel. „Die Schwerlastindustrie entwickelt sich rasant, getrieben durch steigende Anforderungen an Effizienz und Leistung, strengere Sicherheitsvorschriften und ambitionierte Nachhaltigkeitsziele. Hersteller brauchen mehr als Produkte: Sie benötigen Lösungen und Partner, die diese Herausforderungen verstehen und Komplexität in jedem Schritt reduzieren.“

Kleben mit vereinfachtem Prozess

Als Hochleistungsklebstoff verbindet Teroson MS 9381 HPT Langlebigkeit, Zuverlässigkeit und ISO-freie Sicherheit mit einer vereinfachten Anwendung. Es handelt sich um einen einkomponentigen, feuchtigkeitshärtenden, silanmodifizierten Polymer (SMP)-Dichtstoff, der den Applikationsprozess vereinfacht und

Mehr Materialflexibilität und nachhaltige Leistung

Zinnfreier Dichtstoff für schwere Maschinen und Fahrzeuge

Mit steigenden Anforderungen an Nachhaltigkeit, Sicherheit und Effizienz wächst auch der Druck auf Hersteller von Nutzfahrzeugen und schweren Maschinen, ihre Materialien neu zu bewerten. Henkel reagiert darauf mit einem weiterentwickelten Kleb- und Dichtstoff, der leistungsfähige Verarbeitungseigenschaften mit einer deutlich verbesserten Umweltbilanz kombiniert. Der neue SMP-Dichtstoff Teroson MS 9381 HPT zielt darauf ab, Prozesse zu vereinfachen, Emissionen zu reduzieren und gleichzeitig hohe technische Anforderungen zuverlässig zu erfüllen.

diesen auf zwei Schritte reduziert – anstelle der drei Schritte, die bei herkömmlichen Polyurethan (PU)-Produkten erforderlich sind. Die hohe Thixotropie und die starke Soforthaftung sorgen für hervorragende Verarbeitungseigenschaften. Diese Eigenschaften reduzieren potenzielle Fehlerquellen, verbessern die Verarbeitungseffizienz und können zur Senkung der Gesamtbetriebskosten beitragen. Darüber hinaus ermöglicht der Einsatz eines einzigen Materials für mehrere Anwendungen eine Vereinfachung von Lieferkette und Bestandsmanagement.

Teroson MS 9381 HPT bietet außerdem Nachhaltigkeitsvorteile: Der Verzicht auf potenziell gesundheitsgefährdende Inhaltsstoffe erhöht die Sicherheit und bietet nachgewiesene Emissionsreduktionen. Ein Product-Carbon-Footprint-Bericht des HEART-Tool* (Henkel Environmental Assessment Reporting Tool) zeigt, dass der Einsatz von Teroson MS 9381 HPT im Vergleich zu traditionellen PU-Prozessen die CO₂-Emissionen potenziell um bis zu 50 % von der Rohstoffgewinnung bis zum Werkstor („cradle to gate“) reduzieren kann. „Kontinuierliche Innovation, die Kundenleistung, Gesundheit und Sicherheit sowie CO₂-Reduktion priorisiert, ist ein zentraler Bestandteil der Henkel-DNA“, betont Pedro abschließend. „Teroson MS 9381 HPT folgt dieser Philosophie und unterstreicht unser Engagement, die Schwerlast- und Nutzfahrzeugbranche in eine nachhaltigere Zukunft zu führen.“ ■

*HEART bietet Einblicke in die Product Carbon Footprint (PCF)-Berechnung von der Rohstoffgewinnung bis zum Werkstor, einschließlich und exklusive biogener Aufnahmen sowie Materialanteile (erneuerbar, anorganisch, fossil und gesamter Kohlenstoffgehalt). Die angegebenen PCF-Werte entsprechen cradle-to-gate-Ergebnissen und umfassen die Rohstoffe, Produktion, Verpackung und Logistik.

Verbindungstechnik für die Luftfahrt

Befestigungs- lösung für den Leichtbau

Böllhoff und Delo bündeln ihre Expertise und adaptieren bewährte Verbindungstechnologien für die Luftfahrt. Das OnsertBefestigungselement von Böllhoff und der lichthärtende Hochleistungsklebstoff Delo Photobond FB4151 ermöglichen leichte, material-schonende und flammenschutzkonforme Befestigungen im Flugzeuginnenraum.

Diese Kombination bietet eine effiziente Alternative zu herkömmlichen Schraub oder Nietverbindungen und ist ideal für Anwendungen wie Kabelhalter an Leichtbauteilen. Kurze Aushärtungszeiten und einfache Automatisierbarkeit unterstützen hochskalierbare Fertigungsprozesse in der Luftfahrtindustrie.

Der Klebstoff Delo Photobond FB4151 ist ein modifiziertes UV und lichthärtendes Acrylat, das speziell für den Einsatz im Flugzeuginnenraum entwickelt wurde. Er härtet innerhalb weniger Sekunden aus und erreicht hohe Festigkeiten von rund 20 MPa auf verschiedenen luftfahrttypischen Kunststoffen und Metallen bei gleichzeitig hoher Flexibilität mit rund 80 % Reißdehnung.

Neuer Klebstoff erfüllt Luftfahrtanforderungen

Der empfohlene Temperatureinsatzbereich des Klebstoffs reicht von -40 °C bis +120 °C. Mit seinem Brand- und Rauchverhalten erfüllt er die Luftfahrtanforderungen nach FAR Part 25 § 25.853 (a)(1)(i) Amdt. 15/Amdt. 25116 und ABD0031. Zudem ist der Klebstoff ausgasungsarm, lösemittelfrei und entspricht der Richtlinie 2015/863/EU (RoHS).

Das OnsertVerfahren von Böllhoff kombiniert Kleben und mechanische Sicherung in einer Technologie. Transparente Kunststoffelemente werden mithilfe des lichthärtenden Klebstoffs direkt auf Leichtbauwerkstoffe aufgebracht – ohne Bohren oder lokale Materialschwächung. Dies schont Verbundmaterialien und ermöglicht hohe Designfreiheit. Nach der Belichtung können Funktionselemente wie Kabelhalter einfach aufgeclipst werden. Durch Aushärtungszeiten von rund acht Sekunden und die Möglichkeit der automatisierten Verarbeitung eignet sich die Lösung ideal für die Serienproduktion.



Befestigungselement aus transparentem Kunststoff auf lichthärtendem DeloPhotobond FB4151 – leichte und flammenschutzkonforme Verbindungslösung für den Flugzeuginnenraum. Foto: DELO

„Mit der Kombination aus OnsertBefestigungselement von Böllhoff und Delo-Klebstoff entsteht eine leistungsfähige Verbindungstechnologie für den Flugzeuginnenraum – leicht, prozesssicher und ideal für die Serienfertigung“, sagt Franz Drüke, Produktmanager bei Böllhoff.

„Unsere lichthärtenden Klebstoffe sind seit Jahren in der Automobilbranche erfolgreich etabliert. Jetzt ermöglichen sie auch in der Luftfahrt effiziente Fertigungsprozesse mit kurzen Taktzeiten und hoher Designfreiheit“, ergänzt Sebastian Stasch, Product Manager Industrial Solutions bei Delo.

Die Technologie hat in ersten Projekten der Flugzeugsitzentwicklung bereits ihr Potenzial gezeigt, etwa bei der Befestigung von Kabelführungen in BusinessClassSitzen von Recaro. Weitere Anwendungen in der Kabinenausstattung und anderen Leichtbaustrukturen befinden sich in der Qualifizierungsphase.

Über Delo Industrie Klebstoffe

Delo zählt zu den führenden Herstellern von Hightech-Klebstoffen und anderen multifunktionalen Materialien sowie dazugehörigen Dosier- und Aushärtungsgeräten. Die Produkte des Unternehmens werden vor allem in der Halbleiter, Automobil- und Consumer Electronics-Industrie eingesetzt. Sie befinden sich in fast jedem Handy und jedem zweiten Auto weltweit, zum Beispiel in Kameras, Lautsprechern, Elektromotoren oder Sensoren. Zu den Kunden zählen unter anderem Bosch, Huawei, Mercedes-Benz, Osram, Siemens und Sony.

Der Hauptsitz von Delo ist in Windach bei München, daneben gibt es Tochterunternehmen in China, Japan, Malaysia, Singapur und den USA sowie Repräsentanzen und Vertretungen in zahlreichen weiteren Ländern. Das Unternehmen beschäftigt 1 160 Mitarbeiter und erzielte zuletzt einen Umsatz von 245 Mio. Euro. ■



Die iglidur Coating Platten und Gewebe lassen sich ganz einfach in bestehende Systeme wie Getränkeabfüllanlagen einbauen, um Verschleiß und Reibwerte zu verringern. Foto: igus SE & Co. KG

Arger in einer Getränkeabfüllanlage: Flaschen rutschen nicht mehr sauber über das Förderblech, bleiben hängen oder verlangsamen den Takt. Ein Mitarbeiter muss eingreifen, um den Materialfluss wiederherzustellen. Dieses Szenario ist kein Einzelfall.

Auch automatisierte Intralogistiksysteme werden zum Beispiel durch abgenutzte Paketrutschen ausgebremst. Oft aus einem trivialen Grund: Die Beschichtung, meist aus PTFE, nutzt sich schnell ab, sodass der Reibwert steigt.

Die Lösung von igus: iglidur Coating. Die Pulverbeschichtungen aus Hochleistungspolymeren bieten zuverlässige Gleit- und Verschleißigenschaften für Bauteile aus Metall, Kunststoff und Edelstahl. „Versuche in unserem Testlabor haben gezeigt, dass Objekte, darunter auch elektrostatisch aufgeladene Kunststoffbeutel, hervorragend auf der Beschichtung gleiten“, so Marc Trenkler, Produktmanager iglidur Coating bei igus. „Unsere Polymerbeschichtungen sind dabei bis zu 10-mal verschleißfester als herkömmliche PTFE-Beschichtungen.“

Das sorgt für langlebige und belastbare Oberflächen, die selbst unter schwierigen Bedingungen überzeugen und die Funktion von Anlagen optimieren.

Vielseitig einsetzbar – jetzt auch PTFE-frei

Die Beschichtungen eignen sich für verschiedene Fördersysteme, die im täglichen Betrieb starken Belastungen ausgesetzt sind. Speziell für taktintensive und hygienesensible Anwendungen wie Vibrationswendelförderer oder Bleche, die zum Beispiel Getränkeflaschen für eine Verpackungsanlage positionieren, hat igus die FDA- und EU10/2011-konforme Pulverbeschichtung IC-05 entwickelt. Diese ist jetzt auch als PTFE-freie Variante IC-05PF erhältlich. „Damit bieten wir Anwendern im Zuge der Diskussion um mögli-

Neue verschleißfeste Beschichtungslösungen

Ausfallsichere Fördersysteme

Abgenutzte Beschichtungen zählen in Fördersystemen zu den häufigsten Ursachen für Störungen und ungeplante Stillstände. Mit neuen Pulverbeschichtungen auf Basis von Hochleistungspolymeren adressiert igus dieses Problem und verspricht deutlich reduzierte Reibwerte sowie eine höhere Verschleißfestigkeit. Ergänzende Lösungen wie beschichtete Platten, Drahtgewebe und erstmals auch PTFE-freie Varianten erleichtern zudem die Nachrüstung bestehender Anlagen und erhöhen die Prozesssicherheit nachhaltig.

che PFAS-Verbote bereits jetzt eine sichere Materialalternative“, erklärt Marc Trenkler. So können auch Produkte wie Getränkekästen, einzelne Flaschen oder andere hygienesensible Güter sicher und zuverlässig über die beschichteten Rutschen befördert werden.

Schnelle Optimierung und individuelle Beschichtungslösungen

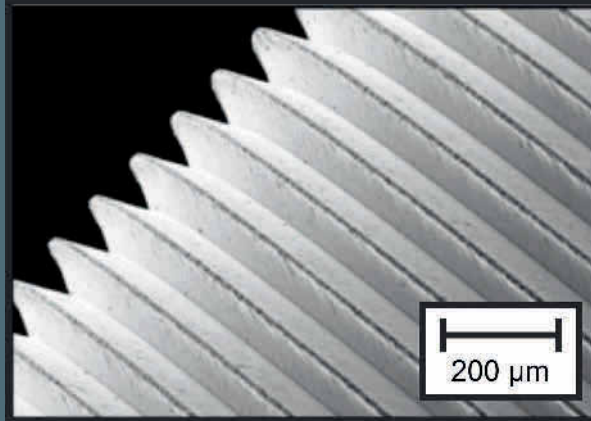
Um Anlagen ohne großen Aufwand nachzurüsten, bietet igus nun auch Stahlplatten und Edelstahlgewebe mit iglidur Pulverbeschichtung an. „Die Platten und Gewebe lassen sich ganz einfach in bestehende Anlagen einbauen, um Verschleiß und Reibwerte zu verringern“, erklärt Marc Trenkler.

Die Platten bieten dank ihrer höheren Schichtstärke einen besonders robusten Verschleißschutz. Das Drahtgewebe hingegen lässt sich flexibel zuschneiden und biegen. Die geringe Auflagefläche reduziert die Reibung zusätzlich. Wollen Kunden hingegen ihr Bauteil direkt beschichten, bietet igus auch einen Beschichtungsservice für alle elektrisch leitfähigen Bauteile aus Metallen wie Stahl, Bronze oder Aluminium an.

Über den iglidur Coating Designer können Nutzer ein CAD-Modell ihres Bauteils hochladen, die verschiedenen Beschichtungspulver miteinander vergleichen und die gewünschte Schichtdicke auswählen. Preis und Lieferzeit berechnet das Tool automatisch – für eine schnelle und transparente Auswahl der passenden Lösung.

Alternativ haben Kunden die Wahl: Sie können ihr Bauteil an igus einsenden und die Beschichtung als Service durchführen lassen oder das gewünschte Beschichtungspulver direkt im Shop erwerben und die Beschichtung eigenständig umsetzen. ■

NEUE FERTIGUNGSTECHNIK VERBESSERT PATIENTENWOHL



REM-Aufnahme einer Magnesiumimplantatschraube. Bild: IFW

Das Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Leibniz Universität Hannover baut seine Forschung in der Medizintechnik weiter aus: Mit dem neuen Projekt „Degradationsangepasste Magnesiumimplantate“ entwickelt das Institut den Angaben zufolge innovative Ansätze, um Implantate noch sicherer und effektiver zu machen. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) fördert das Vorhaben und ermöglicht damit eine gezielte Weiterentwicklung resorbierbarer Implantate.

- Abbauverhalten gezielt an Heilung anpassen

Ziel des Projekts ist es, wie das IFW mitteilt, das Abbauverhalten von Magnesiumimplantaten präzise an die Heilungsprozesse des menschlichen Körpers anzupassen. „Wir arbeiten daran, das Degradationsverhalten so zu steuern, dass Implantate genau so lange stabil bleiben, wie sie für die Heilung benötigt werden“, erklärt IFW-Mitarbeiterin Beate Legutko. „Das erhöht die Patientensicherheit und kann zusätzliche Operationen vermeiden.“

- Magnesiumimplantate in der Frakturheilung

Magnesiumimplantate kommen insbesondere bei der Behandlung von Knochenbrüchen zum Einsatz. Ihr Vorteil: Sie lösen sich im Körper auf und müssen in der Regel nicht operativ entfernt werden. Entscheidend ist dabei laut IFW das richtige Timing. Bauen sich die Implantate zu schnell ab, fehlt die notwendige Stabilität für den Heilungsprozess. Erfolgt der Abbau hingegen zu langsam, kann es zum sogenannten Stress-Shielding-Effekt kommen – der Knochen wird entlastet und dadurch geschwächt.

- Fertigungstechnik als Schlüssel

Genau an dieser Stelle setzt das IFW an. Die Forschenden untersuchen, wie Fertigungsprozesse die Oberflächen- und Randzoneneigenschaften von Magnesiumimplantaten beeinflussen – und damit auch deren Abbauverhalten. Denn mechanische Belastung und Oberflächenstruktur spielen eine zentrale Rolle dafür, wie schnell sich das Material im Körper zersetzt.

- Optimierte Implantate für mehr Patientensicherheit

Das Ziel: Implantate, deren Eigenschaften gezielt eingestellt werden können, sodass sie sich optimal an den individuellen Heilungsverlauf anpassen. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen künftig als Grundlage für die Entwicklung maßgeschneiderter Implantate dienen und die Patientenversorgung nachhaltig verbessern.

Mit dem Projekt verbindet das IFW medizinische Anforderungen, moderne Fertigungstechnologien und praktische Anwendung – und leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Zukunft der Implantatforschung.

Kontakt:

Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen

Beate Legutko

Tel. (05 11) 7 62 – 1 83 36

legutko@ifw.uni-hannover.de

Einführung in die Form- und Lagetolerierung



Einführung in die Form- und Lagetolerierung – Geometrische Produktspezifikation (ISO GPS) für die Praxis – 152 Seiten – 34,99 Euro. Bild: Carl Hanser

Bei ISO GPS handelt es sich um ein Normensystem zur geometrischen Produktspezifikation (GPS), mit dem die Funktion und die geometrischen Eigenschaften von Bauteilen eindeutig definiert werden. ISO GPS rückt seit Entfall von Teil 2 der DIN ISO 2768 und der Einführung von DIN EN ISO 22081 stärker in den Fokus. Das Grundlagenwerk bietet einen praxisgerechten Einstieg in die Tolerierung und konzentriert sich auf die wesentlichen Fragen: Was muss spezifiziert werden und wie setze ich die Spezifikation um?

Behandelt werden die Themen: Prozess der Tolerierung, Grundlagen der GPS, Grundzüge der dimensionellen und geometrischen Tolerierung, Bezüge und Bezugssysteme, Allgemeintoleranzen und Nicht-formstabile Teile nach DIN EN ISO 10579.

Die 2. Auflage berücksichtigt alle relevanten Normen der GPS und die Neuerungen der DIN EN ISO 5459. Außer den normativen Grundlagen vermittelt das Buch eine praxisbewährte Vorgehensweise zur Toleranzvergabe, die anhand typischer Bauteile erläutert wird. Diese können als Vorlage für eigene Bauteile dienen. Martin Bohn: *Einführung in die Form- und Lagetolerierung*. Carl Hanser Verlag 2026. 152 Seiten, ISBN:

978-3-446-48521-1, 34,99 Euro



Forscher des ZSW fertigt Elektroden in der Forschungsproduktionsanlage: Im Projekt Medicell entwickeln sie wiederaufladbare Spezialbatterien für tragbare Medizintechnik. Bild: ZSW

Forschungsprojekt entwickelt ultrakompakte Hochenergie-Zellen

Wiederaufladbare Miniatur-Batteriezellen für die Medizintechnik

Ziel des Forschungsprojektes „Medicell“ ist die Entwicklung miniaturisierter Hochenergie-Lithium-Ionen-Zellen. Die Zellen sollen wiederaufladbar sein und eine längere Laufzeit bieten. Das Themenspektrum des Vorhabens reicht von neuen Elektrodenmaterialien bis hin zu industrienahen Produktionsverfahren für die Zellfertigung. Ein Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung präziser Misch- und Beschichtungsverfahren für energiereiche Silizium-Kohlenstoff-Anoden. Ziel ist die Herstellung ultradünner Elektroden mit konstanter Dicke. Parallel sollen NMC-Kathoden mit hohem Energieinhalt und optimierter Mikrostruktur entwickelt werden. Aufgrund der sehr kleinen Bauform müssen fast alle Fertigungsprozesse neu konzipiert werden.

Millionen tragbarer Medizingeräte wie Hörgeräte oder kontinuierliche Insulinpumpen werden heute von kleinen Einwegbatterien betrieben. Das führt nicht nur zu häufigem Batteriewechsel, sondern erzeugt auch viel Abfall. An die-

ser Stelle setzt das neu gestartete Forschungsprojekt „Medicell“ an.

Miniaturisierte Hochenergie-Lithium-Ionen-Zellen

Ziel ist die Entwicklung miniaturisierter Hochenergie-Lithium-Ionen-Zellen, die wiederaufladbar sind und zudem längere

Laufzeiten bieten. Davon profitieren sowohl Anwender als auch die Umwelt. Das Themenspektrum des Vorhabens reicht von neuen Elektrodenmaterialien bis hin zu industrienahen Produktionsverfahren für die Zellfertigung. „Medicell“ ist im März 2026 gestartet und läuft über drei Jahre. Das Land Baden-Württemberg fördert das Projekt mit rund acht Millionen

Euro. Beteiligt sind das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) sowie das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (Fraunhofer IPA). Als Industriepartner ergänzt die Varta Microbattery in Ellwangen das Entwicklungsteam.

„Batterietechnologien sind eine zentrale Schlüsseltechnologie für die industrielle Zukunft unseres Landes. Mit dem Projekt ‚Medicell‘ stärken wir gezielt die Entwicklung hochinnovativer Batteriezellen ‚made in Baden-Württemberg‘ und verbinden exzellente Forschung mit industrieller Umsetzung. Miniaturisierte und wiederaufladbare Batteriezellen eröffnen neue Möglichkeiten für moderne Medizintechnik und stärken zugleich die technologische Souveränität unseres Wirtschaftsstandortes und damit auch Europas“, sagt Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut, Ministerin für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus.

Neue Akku-Generation für medizinische Anwendungen

„Im Projekt Medicell entwickeln wir extrem kompakte Batteriezellen für tragbare Medizintechnik. Die Zellen kombinieren Erkenntnisse aus kommerziellen Hörgerätebatterien mit der aktuellen Forschung zu Batterien für Elektrofahrzeuge. Erstmals kommen dabei neuartige siliziumhaltige Anoden zum Einsatz“, sagt Dr. Margret Wohlfahrt-Mehrens, Batterieexpertin und Senior Advisor am ZSW. „Wegen der sehr kleinen Bauform solcher Batteriezellen – teils nur wenige Millimeter Durchmesser – müssen zudem fast alle Fertigungsprozesse neu entwickelt werden.“

Mit den Spezialzellen können künftig unter anderem Hörgeräte, Insulinpumpen oder kontinuierliche Glukosemesssysteme mit wiederaufladbaren Batterien betrieben werden. Dadurch lassen sich die Abfallmengen der heute eingesetzten nicht-aufladbaren Batterien deutlich reduzieren. Auch Anwendungen in tragbarer Elektronik – etwa medizinische Sensoren oder kabellose Headsets – könnten von der neuen Batterietechnologie profitieren.

Ziel des Projekts Medicell ist es, die notwendigen Komponenten bei den wissenschaftlichen Partnern vorzuentwickeln und dann auf den Pilotlinien des ZSW erstmalig zu fertigen. Die industrielle Validierung wird anschließend auf den Pro-

duktionsanlagen der Firma Varta Microbattery in Ellwangen erfolgen – dem weltweit führenden kommerziellen Hersteller von Hörgerätebatterien.

Von Materialentwicklung bis Zellmontage

Das ZSW koordiniert das Projekt und entwickelt sowohl die Materialien als auch die zentralen Fertigungsprozesse für die

„Die Zellen kombinieren Erkenntnisse aus kommerziellen Hörgerätebatterien mit der aktuellen Forschung zu Batterien für Elektrofahrzeuge.“

neuartigen Zellformate. Dabei untersuchen die Forschenden systematisch die Zusammenhänge zwischen Materialeigenschaften, Prozessparametern und Zelleistung.

Ein Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung präziser Misch- und Beschichtungsverfahren für energiereiche Silizium-Kohlenstoff-Anoden. Ziel ist die Herstellung ultradünner Elektroden mit konstanter Dicke. Parallel entwickelt das ZSW NMC-Kathoden mit hohem Energieinhalt und optimiert deren Mikrostruktur durch angepasste Materialmischungen und Beschichtungsprozesse, um sowohl die Handhabbarkeit als auch die Sicherheit dieser Materialien zu gewährleisten. Materialentwicklung und Charakterisierung erfolgen unter anderem in der kürzlich in Betrieb gegangenen Pilotanlage „Powder-Up!“ am ZSW, in der Batteriematerialien in industrienahen Mengen hergestellt werden können.

Das KIT untersucht im Projekt insbesondere die Trocknungsprozesse der Elektroden und deren Verdichtung mittels Kalandrierung, um höchste Energieinhalte zu erreichen. Das Fraunhofer IPA entwickelt

gemeinsam mit dem Industriepartner Varta Microbattery die Prozessbedingungen für die finale Befüllung der Batteriezellen mit Elektrolyten – von der Vakuumierung bis zur präzisen Dosierung.

Hochpräzise Fertigung erforderlich

Jeder Fertigungsschritt bei der Zellmontage muss dabei präzise durchgeführt und überwacht werden: präzise Elektrolytdosierung, adaptive Laserprozesse, Mikroschweißen, Echtzeitkorrekturen und eine vollautomatische Dichtigkeitsprüfung sind für die notwendige Qualität solcher Medizinprodukte unerlässlich.

Die Summe aus neuen Materialien und neuen Prozess- und Fertigungsschritten in Verbindung mit höchsten Standards für Anwendungen in der Medizin macht dieses Projekt für alle Beteiligten besonders anspruchsvoll. Die enge Zusammenarbeit der wissenschaftlichen Partner mit dem Technologieführer Varta Microbattery garantiert nicht nur eine hohe Erfolgswahrscheinlichkeit, sondern auch eine schnelle Umsetzung der Ergebnisse in reale Produkte.

Das ZSW in Ulm zählt zu den führenden Einrichtungen der angewandten Batterieforschung in Deutschland. Das Institut verbindet Materialentwicklung, Zelltechnologie und industrielle Produktionsforschung entlang der gesamten Batteriewertschöpfungskette.

Eine besondere Stärke ist die industrienaher Entwicklung von Zellfertigungsprozessen. Herzstück ist eine Forschungsproduktionslinie für Lithium-Ionen-Zellen, die bereits seit 2014 in Betrieb ist und die Herstellung großformatiger Zellen mit Kapazitäten bis zu 100 Ah unter industrienahen Bedingungen ermöglicht.

Ergänzt wird diese Infrastruktur seit 2024 durch die Pilotanlage Powder-Up! im Ulmer Science Park. Sie ermöglicht die Herstellung innovativer Batteriematerialien – insbesondere Kathodenmaterialien – in Chargen von 10 bis 100 kg. ■

Kontakt

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)
70563 Stuttgart
Tel. (07 11) 78 70 – 0
info@zsw-bw.de
www.zsw-bw.de

Ernte-Roboter für Spargel

Forschende der Technischen Universität München haben nach eigenen Angaben einen Ernte-Roboter für Spargel entwickelt. Der Prototyp erkennt und lokalisiert reifen grünen Spargel. Dabei sei er schnell genug, um mit Menschen konkurrieren zu können.

Die Spargelernte ist einerseits sehr arbeitsintensiv und stellt andererseits hohe Anforderungen an die Automatisierung – das Gelände ist uneben und die Stangen sind dünn und unterschiedlich lang. Das führt dazu, dass derzeit verfügbare Ernte-Roboter zu langsam und ineffizient sind. Der von den Forschern entwickelte Roboter verarbeitet mehrere Bilder der montierten Kameras, um die Spargelstangen zu identifizieren. Diese Bilder werden an den Roboterantrieb weitergeleitet, der den Spargel ernten kann. Dabei muss der Roboter berücksichtigen, dass er sich bewegt und sich die relative Position des Spargels zum Roboter in der Zeit zwischen der Lokalisierung und dem Erntevorgang verschiebt.

Der vorgestellte Prototyp ist in diesen ersten Schritten des Prozesses erfolgreich, heißt es. Aufgrund der montierten Kameras und der Algorithmen könne der Roboter die Spargelstangen erkennen und lokalisieren. Dabei sei er deutlich schneller als andere bereits erhältliche Ernteroboter. „Wir sehen weltweit große Chancen für Roboter in der Spargelernte“, sagt Timo Oksanen, Professor für Agrarmechatronik an der TUM.

Die Forscher berechneten, dass der Roboter eine Geschwindigkeit von mindestens 0,33 m/s erreichen muss, um mit Erntehelfern mithalten zu können. Der vorgestellte Prototyp kam auf unebenem Gelände auf 0,8 m/s und auf ebenem Gelände auf 1 m/s. Damit übertreffe der Prototyp die aktuellen Marktstandards. Im nächsten Schritt werden die Erkennungsalgorithmen in weiteren Tests verbessert. „Sobald wir die Erkennung weiter optimiert haben, werden wir den Erntealgorithmus und die weiteren Roboterfunktionen erarbeiten“, sagt Andreas Neubauer, der den Roboter entwickelt hat. www.tum.de



Die Projektpartner: (v.li.) Prof. Dr. Ruben Niederhagen (Academia Sinica), Prof. Dr. Marc Stöttinger (HSRM), Prof. Dr. Peter Schwabe (MPI-SP), Prof. Dr. Christoph Krauß (h_da), Prof. Dr. Bo-Yin Yang (Academia Sinica). Bild: h_da/Michael Caspar

Kryptografie: Schutzmechanismen gegen Risiken durch Quantencomputer

Was passiert, wenn Quantencomputer plötzlich heutige Verschlüsselungsmethoden aushebeln? Ein gemeinsames Forschungsprojekt der Hochschule Darmstadt (h_da), der Hochschule RheinMain (HSRM) und des Max-Planck-Instituts für Sicherheit und Privatsphäre (MPI-SP) will genau das verhindern – und die Grundlagen digitaler Sicherheit neu denken. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) fördert das Vorhaben mit rund 750.000 Euro.

Kryptografie schützt zentrale Bereiche unseres Alltags. Doch diese Sicherheit ist durch die Entwicklung extrem leistungsstarker Quantencomputer bedroht. „Der Quantencomputer ist eine disruptive Erscheinung in der Technologie“, sagt Prof. Dr. Marc Stöttinger (HSRM). Denn Quantencomputer können bestimmte mathematische Probleme sehr effizient lösen, auf denen heutige Verschlüsselungsverfahren basieren.

Die Folgen am „Tag X“, an dem der erste voll funktionstüchtige Quantencomputer auf den Plan tritt, wären gravierend: manipulierte Industrieanlagen, kompromittierte Kommunikationssysteme oder Angriffe auf kritische Infrastrukturen. „In einer Industrieanlage oder in Energienetzen könnte ein Angreifer beispielsweise Steuerbefehle einschleusen und das Stromnetz abschalten“, warnt Prof. Dr. Christoph Krauß (h_da). Gleichzeitig betont er die zentrale Rolle der IT-Sicherheit: „Kryptografie ist ein Schutzschild für unsere digitale Gesellschaft.“

Um diesen Schutzschild zukunftsfähig zu machen, arbeitet das Forschungsteam im Projekt „Holistic Security Solutions for Software-Hardware Implementations (H3SI)“ an einem neuen Ansatz. Ziel ist es, Verschlüsselungssysteme ganzheitlich zu betrachten und abzusichern – von den zugrunde liegenden Algorithmen über Kommunikationsprotokolle bis hin zur Systemarchitektur insgesamt. „Am Ende müssen alle Teile miteinander verbunden sein und zusammenpassen, damit kryptografische Verfahren langfristig sicher sind“, erklärt Prof. Dr. Peter Schwabe (MPI-SP).

Ein zentraler Aspekt des Projekts ist die sogenannte kryptographische Agilität: Systeme sollen künftig so gestaltet werden, dass man sie flexibel an neue Bedrohungen anpassen kann. „Man muss sie updaten können, ohne größere Komponenten komplett ersetzen zu müssen“, so Prof. Dr. Marc Stöttinger. Einfach nur neue Algorithmen einzusetzen, reicht dabei nicht aus.

Klar sei jedoch: Die Zeit drängt. Systeme, die heute entwickelt werden, müssen oft über Jahrzehnte hinweg sicher bleiben. Entsprechend deutlich formuliert h_da-Experte Prof. Dr. Christoph Krauß die Priorität: „An erster Stelle müssen wir der Bedrohung Herr werden.“ www.h-da.de

Alle
auch als
E-Paper



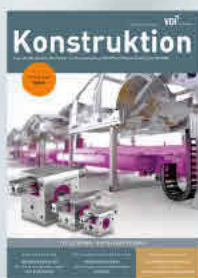
10 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 573,00 EUR
zzgl. Versandkosten
E-Paper-Abo: 491,00 EUR



6 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 517,00 EUR
zzgl. Versandkosten
E-Paper-Abo: 444,00 EUR



9 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 271,00 EUR
zzgl. Versandkosten
E-Paper-Abo: 233,00 EUR



9 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 612,00 EUR
zzgl. Versandkosten
E-Paper-Abo: 525,00 EUR



6 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 299,00 EUR
zzgl. Versandkosten
E-Paper-Abo: 257,00 EUR

**Die erste
Adresse für
Technikwissen:
VDI Fachmedien**



6 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 304,00 EUR
zzgl. Versandkosten
E-Paper-Abo: 261,00 EUR



6 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 388,00 EUR
zzgl. Versandkosten
E-Paper-Abo: 334,00 EUR



9 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 324,00 EUR
zzgl. Versandkosten
E-Paper-Abo: 279,00 EUR

Die VDI Fachmedien bieten Ihnen eine breite Palette renommierter Fachzeitschriften aus den Bereichen **Bau, Konstruktion/Produktion, Logistik, Energie und Umwelt**. In direkter Anbindung an den VDI, das größte technisch-wissenschaftliche Netzwerk für Ingenieur*innen Deutschlands. Unsere Autor*innen berichten über Innovationen und Hintergrundwissen in ihrem jeweiligen Fachgebiet. Und das jederzeit praxisorientiert, ohne den wissenschaftlichen Background aus dem Blick zu verlieren.



Technikwissen für Ingenieur*innen - jetzt auswählen und bestellen:

T +49 6123 9238-202

E vdi-fachmedien@vuservice.de

vdi-fachmedien.de

Inlandsbruttopreise – Ausland auf Anfrage

**Jetzt Konstruktion
abonnieren:
20% Rabatt erhalten**

**9
Ausgaben
pro Jahr**



Sie wollen als Ingenieur oder Ingenieurin immer auf dem neuesten Stand sein und sich Wissensvorsprung durch innovative Konstruktionsideen und aktuelles Konstruktionswissen in Theorie und Praxis sichern? Dann abonnieren Sie jetzt die Zeitschrift Konstruktion, Deutschlands älteste Konstruktionszeitschrift und Organ der VDI-Gesellschaften Produkt- und Prozessgestaltung und Materials Engineering. **Auf das Jahresabo erhalten Sie im ersten Jahr 20% Rabatt – statt 612,00 EUR zahlen Sie nur 489,60 EUR zzgl. 17,00 EUR Versandkosten innerhalb Deutschlands!**¹⁾



Technikwissen für Ingenieur*innen – jetzt abonnieren:

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

¹⁾ Angebot nur gültig für Neu-Abonnenten und Neu-Abonnentinnen.