

Konstruktion

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

Sonderteil
Antriebstechnik



TITELTHEMA: MASCHINENELEMENTE

AXIALFLUSS-KOMPONENTEN

Komplexe Antriebstechnik auf dem Weg zur Serienfertigung

NEURONALE NETZE

Distanzsensorik mit KI auf ein neues Niveau heben

KUNSTSTOFFE

Wie Thermoplaste den Kabinenleichtbau in der Luftfahrt neu definieren



**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 Zugangs-codes
- Ab 10 Nutzer*innen = IP-Range

Jetzt E-Paper-Lizenz Konstruktion bestellen!

Anzahl Nutzer*nnen	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@vuser-service.de



Vier KI-Trends für die Robotik 2026

Vier technische Entwicklungen markieren im Jahr 2026 einen Wendepunkt für die Robotik. Nicht leistungsstärkere Antriebe oder neue Kinematiken stehen im Mittelpunkt, sondern Fortschritte in künstlicher Intelligenz (KI), mathematischer Modellierung und der systematischen Nutzung von Prozessdaten. Diese Trends verändern grundlegend, wie Roboter ausgelegt, integriert und betrieben werden – mit direkten Auswirkungen auf Konstruktion, Anlagenplanung und Automatisierungstechnik über den gesamten Lebenszyklus hinweg.

Zweckgebundene KI ersetzt generische Systeme: An die Stelle universeller KI-Plattformen treten zunehmend spezialisierte Anwendungen, die gezielt für einzelne Prozesse entwickelt sind. KI-Schweißen, KI-Inspektion, KI-Finishing oder KI-Montage werden als vortrainierte und vorintegrierte Module ausgeliefert und lassen sich ohne aufwendige Programmierung produktiv einsetzen. Damit hält Automatisierung Einzug in Prozesse, die bislang als zu variabel oder zu komplex galten. Für Konstruktion und Anlagenplanung bedeutet das eine Verschiebung der Perspektive: Prozesse können wieder stärker von der realen Aufgabenstellung her gedacht werden, anstatt sich an den Grenzen klassischer Automatisierungslösungen zu orientieren. Besonders bei variantenreichen Bauteilen, wechselnden Toleranzen oder anspruchsvollen Oberflächen wird Robotik dadurch erstmals wirtschaftlich skalierbar.

Prädiktive Mathematik als neuer Leistungshebel: Ein zweiter zentraler Trend liegt in mathematischen Verfahren, die Robotern erlauben, ihr Handeln vorauszuberechnen. Methoden wie Dualzahlen und sogenannte Jets erfassen nicht nur Positionen, sondern auch Ableitungen und Wechselwirkungen im Gesamtsystem. Roboter können dadurch alternative Bewegungsbahnen simulieren, Kräfte und Dy-

namiken abschätzen und Prozessparameter optimieren, bevor eine Bewegung tatsächlich ausgeführt wird. Für Konstrukteure eröffnet dies neue Freiheitsgrade bei der Auslegung von Zellen und Linien: Inbetriebnahmen verkürzen sich, Szenarien lassen sich vorab durchspielen, und Prozesse reagieren robuster auf Störungen, Toleranzabweichungen oder Materialschwankungen im Betrieb.

„Der nächste Fortschritt in der Robotik entsteht nicht aus der Hardware, sondern aus der Fähigkeit, Bewegungen, Kräfte und Prozesse vorauszudenken.“

Vernetzte Cobots: Parallel dazu entwickelt sich Robotik von isolierten Zellen hin zu vernetzten, kooperierenden Einheiten. Imitationslernen – das Lernen durch Beobachtung menschlicher oder robotischer Vorbilder – ermöglicht adaptive Teams, die Erfahrungen, Bewegungsmuster und Strategien teilen. Industrielle Cobots folgen nicht mehr nur festen Programmen, sondern passen ihr Verhalten dynamisch an ihre Umgebung an. Arbeitsabläufe lassen sich dadurch schneller rekonfigurieren, ohne klassische Neuprogrammierung. Insbesondere in gemischten Mensch-Roboter-Umgebungen entstehen neue Freiheitsgrade für Layout, Taktung und Prozessgestaltung, während gleichzeitig die Robustheit gegenüber unerwarteten Veränderungen steigt.

Daten werden zum strategischen Produktionsfaktor: Zunehmend rückt

auch die Nutzung von Daten in den Fokus. Sensor-, Bild- und Prozessdaten verbleiben heute meist lokal beim Betreiber – gut für Datenschutz und Reaktionszeiten, aber limitierend für das Training leistungsfähiger KI-Modelle. Künftig könnten anonymisierte, datenschutzkonforme Datensätze in sicheren Austauschmodellen genutzt werden, um KI-Anwendungen kontinuierlich zu verbessern. Denkbar sind etwa Qualitätsdaten aus Schweißprozessen oder Oberflächenparameter aus Finishing-Anwendungen als Grundlage für bessere Fehlererkennung, adaptive Regelung oder vorausschauende Wartung. Aus konstruktiver Sicht entsteht damit ein Rückkopplungskreis zwischen realem Betrieb und Weiterentwicklung von Robotersystemen.

Mehr Mission-ROI durch prädiktive Robotik: In der Summe führen diese Entwicklungen zu einem deutlichen Sprung im Mission-ROI – also im wirtschaftlichen Nutzen pro Roboteranwendung. Höhere Produktivität pro Roboterstunde, schnellere Inbetriebnahme und Umrüstung, geringere Stillstandszeiten sowie eine kontinuierliche Verbesserung auf Basis realer Einsatzdaten verändern die Wirtschaftlichkeit robotischer Systeme nachhaltig. Für Konstruktion und Automatisierung bedeutet das einen Paradigmenwechsel: Robotik wird planbarer, flexibler und attraktiver – auch für Anwendungen, die bislang als zu komplex oder zu variabel galten. Physische KI entwickelt sich damit zu einem zentralen Konstruktionsfaktor der nächsten Robotikgeneration. ■



Anders Billesø Beck
Vice President AI Robotics-Products bei Universal Robots
Teradyne Robotics (Germany) GmbH
ur.we@universal-robots.com
www.universal-robots.com/de
Foto: Universal Robots



28

Axialflussmotoren bieten für die Elektromobilität enormes Potenzial. Neue Verfahren eröffnen nun den Weg in die Großserie. Foto: SWD AG



52

Diamant-Beschichtungen für die Bearbeitung von Zirkonoxid-Rohlingen zur Herstellung von Zahnersatz. Foto: IDI Precision Machinery Ltd

Editorial

- 3** ANDERS BILLESØ BECK Vier KI-Trends für die Robotik 2026

Aktuelles

- 6** Siemens übernimmt Aster Technologies
- 6** Werkzeugmaschinenbranche erwartet leichtes Wachstum
- 7** Internationaler Fachkongress zu Kunststoffen im Automobilbau
- 8** PI: neue MTP Specification 2.0
- 9** Festo übernimmt R. Neddermann
- 9** Schaeffler und Humanoid schließen Partnerschaft
- 9** Auftragslage im Maschinenbau bleibt schwierig
- 10** Neuer Höchststand beim Marktwert installierter Industrie-Roboter
- 11** VDI-GPP Nachrichten aus der VDI-Fachgesellschaft

Maschinenelemente

- 14** GLEICHES GRUNDKONZEPT Bremsen im Baukastensystem
- 16** ENERGIEKETTEN Schneller zur kundenspezifischen Energiekette

Automatisierung

- 19** ROBOTER Umreifungsbänder automatisiert entfernen
- 20** VERBINDUNGEN Lösungen für Wellpappenanlagen
- 23** INTRALOGISTIK Cybersecurity in der Intralogistik

Antriebstechnik

- 26** ROBOTIK Zertifizierter Komplettantrieb für die Medizintechnik
- 28** E-MOBILITÄT Komplexe Antriebstechnik auf dem Weg zur Serienfertigung
- 31** WINDENERGIE Neues Antriebskonzept
- 32** ANTRIEBSSYSTEM Frequenzumrichter für die dezentrale Antriebstechnik

Produktentwicklung

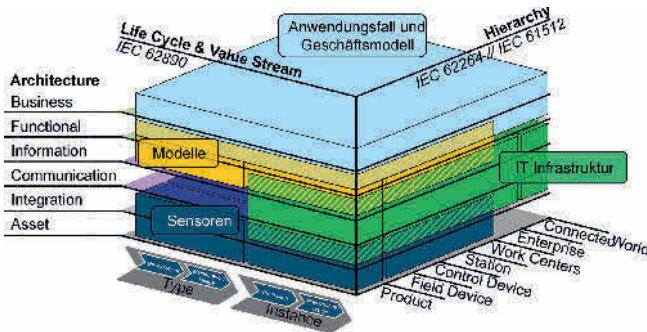
- 37** TOF Distanzsensorik mit KI auf ein neues Niveau heben
- 38** WASSERSTOFF Werkstoffprüfung unter hohem Druck

WiGeP

- 57** FAHRZEUGTECHNIK Evaluierung KI-basierter Algorithmen mittels synthetischer Daten für automatisiertes Fahren

Fachteil Ingenieur-Werkstoffe

- 42** GASIFIZIERUNGS-RECYCLING Aus Altfahrzeugabfällen entstehen neue Kunststoffkomponenten
- 45** BIODURKUNSTSTOFFE Neue Typen für industrielle Anwendungen
- 46** LEICHTBAU Wie Thermoplaste den Kabinenleichtbau in der Luftfahrt neu denken
- 48** KLEBPROZESS Klebstoffe genau dosieren
- 49** FORSCHUNG Biobasierte Klebstoffe als Baustein nachhaltiger Spanplatten
- 50** KLEBSTOFFE Klebtechnik für transparente LED- und Lichtanwendungen
- 52** OBERFLÄCHENTECHNIK Beschichtungen für die wirtschaftliche Zirkonoxid-Bearbeitung
- 54** EDELSTAHL ROSTFREI Höchste Hygiene für Tablettieranlagen



59

Entwicklung digitaler Zwillinge: Einsortierung des Konzept des Digitalen Zwillings in das RAMI 4.0. *Grafik: pmd*

Forschung, Wissenschaft, Innovation

59 DIGITALE ZWILLINGE

M. Fett, J. Trauer, S. Schweigert-Recksiek, R. Breimann, M. Krastel, E. Kirchner

Wertgetriebene, modellbasierte Entwicklung Digitaler Zwillinge unter Berücksichtigung ökonomischer und technischer Aspekte*

(DOI 10.37544/0720-5953-2026-01-02-59)

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.

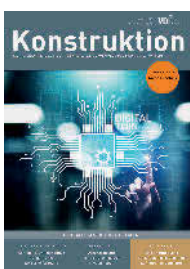
67 Forschung und Technik aktuell

Rubriken

8 Impressum

34 Neue Produkte und Verfahren

22 Vorschau



Digitaler Zwilling

Digitale Zwillinge, also virtuelle Kopien physischer Objekte, sind aus der Industrie nicht mehr wegzudenken und gelten als Schlüsseltechnik für die Industrie 4.0. Allerdings ist der Aufwand in der Entwicklung zum Teil noch sehr hoch. In unserem wissenschaftlich begutachten Beitrag ab Seite 59, wird ein Ansatz präsentiert, der ökonomische und technische Aspekte bei der Entwicklung verbindet. *Titelseite: smarterpix/WrightStudio*



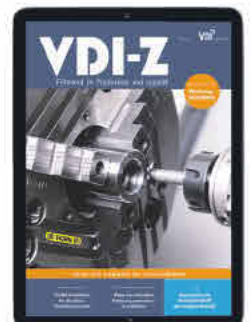
Für nur
59 EUR
inkl. MwSt.

Jetzt VDI-Z upgraden: Mit dem E-Paper- Abonnement

Sie wollen jederzeit und überall Zugriff auf VDI-Z, Deutschlands älteste ingenieur*innen-wissenschaftliche Zeitschrift, die den Fortschritt in Technik, Produktion und Logistik in 165 Jahrgängen erfolgreich mit vorangetrieben hat? Dann sichern Sie sich jetzt zusätzlich zu den 9 VDI-Z-Printausgaben pro Jahr auch Ihr Abo-Upgrade E-Paper: 59 EUR inkl. MwSt.

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

Jetzt bestellen!



Technikwissen für Ingenieur*innen

ingenieur.de/abo-vgdz

Siemens übernimmt Aster Technologies

Siemens hat die Übernahme von Aster Technologies bekannt gegeben. Aster ist laut Siemens ein privat geführter Marktführer im Bereich Testverifizierung und Ingenieursoftware für die Leiterplattenmontage (PCBA). Dieser strategische Schritt integrierte die fortschrittliche „Shift-Left“-Design-for-Test-(DFT-)Funktionalität des Unternehmens direkt in die Siemens Xpedition-Software und die Valor-Software – die Teil des Siemens Xcelerator-Portfolios für Industriesoftware sind. Dies schaffe ein umfassendes Portfolio für das Design elektronischer Systeme. Die Übernahme ermögliche den Kunden einen echten „digitalen roten Faden“ vom Leiterplatten-Design bis zur Fertigung. Daraus ergebe sich eine schnellere Fehlererkennung, niedrigere Kosten, verkürzte Markteinführung sowie eine verbesserte Produktqualität und -zuverlässigkeit. Aster wurde im Jahr 1993 gegründet und hat seinen Sitz in Cesson-Sévigné (Frankreich) und gilt als führender Anbieter von Software-Tools für die Verifizierung, Montage und Prüfung von Leiterplattenbaugruppen.

www.siemens.com

Franz-Xaver Bernhard,
Vorsitzender des VDW:
„Große Sorgen bereitet uns der Wettbewerb aus China.“ Foto: VDW



WERKZEUGMASCHINENBRANCHE ERWARTET LEICHTES WACHSTUM

Die deutsche Werkzeugmaschinenindustrie erwartet nach zwei Jahren im Rückwärtsgang für 2026 einen Zuwachs in der Produktion von 1% auf 13,7 Mrd. Euro. Dies hat der VDW – Verein deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V., Frankfurt/Main – bekannt gegeben. „Wesentliche Grundlage dafür ist die erwartete Erholung der Inlandsnachfrage“, begründet Franz-Xaver Bernhard, Vorsitzender des VDW, auf der Jahrespressekonferenz die Prognose. Hohe Kosten, mangelnde Planungssicherheit und das Ausbleiben wirtschaftlicher Reformen zur Stärkung des deutschen Produktionsstandorts hatten die Investitionen im Vorjahr ausgebremst. Nunmehr würden positive Effekte des so genannten Sondervermögens der Bundesregierung erwartet, das in Infrastruktur, Verteidigung, Klimaschutz, Digitalisierung und Mobilität investiert werden soll und zumindest einen kleinen Impuls geben könnte.

Im Jahr 2025 war die Produktion um 8% gesunken. Im Vergleich zum höchsten Ergebnis im Jahr 2018 beträgt der Abstand damit ein Fünftel. Preisbereinigt ergibt sich sogar eine Lücke von 35%. Der Rückgang betrifft gleichermaßen den Export und in etwas geringerem Ausmaß den Inlandsabsatz. Die Ausfuhren in alle Weltregionen waren rückläufig. Nur wenige der Top-15-Auslandsmärkte konnten zulegen.

„Große Sorgen bereitet uns der Wettbewerb aus China“, sagt Bernhard. Wie erwartet hätten die Chinesen gemäß der geltenden Regierungsstrategie ihre Werkzeugmaschinenausfuhren massiv gesteigert, um 18%. Verstärkt wurde die Entwicklung durch die Nachfrageschwäche im Land selbst. Entsprechend mussten die deutschen Hersteller ihre internationale Führungsposition im Export an China abgeben. Das Land baut seine Stellung im Asean-Raum weiter kräftig aus, ebenso in Brasilien, im Nahen Osten und in Nordafrika. Auch die Exporte in einige EU-Länder steigen weiter, so nach Deutschland, Polen und Italien, obwohl der Gesamtimport dieser Länder in den vergangenen Jahren eher rückläufig war.

Damit die Branche wieder Fahrt gewinne, müsse sie alle verfügbaren Handlungsoptionen ausschöpfen. Neben Kapazitätsanpassungen seien das Auslandsproduktion, Diversifizierung der Märkte, Ausbau der Technologieführerschaft, Intensivierung der Forschungsaktivitäten und Rekrutierung von exzellenten Mitarbeitenden.

2025 gingen die deutschen Ausfuhren in die größten Absatzmärkte aufgrund der US-Zölle und des sinkenden chinesischen Imports kräftig zurück. Die Top-Absatzregion der deutschen Hersteller sei Europa, mit rund der Hälfte der Ausfuhren. Addiere man den deutschen Markt hinzu, so gehe der Löwenanteil des Werkzeugmaschinenabsatzes von über 60% in die Region. Kundenbranchen wie Rüstungsindustrie, Flugzeugbau, Elektronik, Energie oder Medizintechnik seien vielversprechend. Der Ausbau und die Sicherung kritischer Infrastruktur bei Batterien und Chips, der Aufbau einer Wasserstofftechnik, Digitalisierung und der Aufbau von Rechenzentren setzen Investitionen in Europa frei. Sie könnten die Automobilindustrie in ihrer Bedeutung nicht ablösen, aber den Transformationsdruck abmildern. www.vdw.de

PIAE – Internationaler Fachkongress zu Kunststoffen im Automobilbau

Der weltweit größte Kongress für kunststofftechnische Anwendungen im Automobil (PIAE), findet erstmals in Baden-Baden statt. Wie das VDI Wissensforum als Veranstalter mitteilt, kommen am 18. und 19. März 2026 führende Köpfe aus Wissenschaft und Forschung, von OEMs und der Zulieferindustrie zusammen, um neueste Trends und Innovationen sowie materialtechnische Fragen zu diskutieren.

Die Teilnehmenden erhalten, so das Wissensforum, in 50 handverlesenen Fachvorträgen Einblicke in neueste Forschungsprojekte sowie in die gelebte Praxis. Materialtechnik, Design, Nachhaltigkeit und Digitalisierung greifen dabei ineinander. Das Kongressprogramm sei bereits zum Download als pdf-Datei verfügbar.

Mit dem weiterentwickelten Konzept des Kongresses werden innovative Entwicklungen der Pkw- und Nutzfahrzeughersteller sowie Trends aus Exterieur, Interieur und Aggregaten noch stärker in den Fokus gerückt, heißt es weiter. Neu sind unter anderem wissenschaftlich fundierte, vertiefende Spotlight Sessions zu PU-Beschichtungen, Stoffkreisläufen, Rohstoffsicherheit und Regulatorik. Zudem präsentieren die TecPart-Innovationspreisträger ihre prämierten Bauteile.

Bekannte Stimmen der Branche bereichern die zweitägige Veranstaltung mit ihren Keynotes. „Lost in Transformation?“ – Unter diesem Titel wird Prof. Dr. Stefan Bratzel, Gründer des Center of Automotive Management, den Kongress eröffnen. Er gibt einen Überblick zur Transformation der Industrie, analysiert Markt- und Produktionstrends sowie Innovationen.

Dipl.-Ing. Alexander Bloch, Chefreporter von auto motor und sport, zeigt in seiner Keynote, wie moderne Interior-Lösungen aus Kundensicht wahrgenommen werden. Zu den weiteren Top-Speakern der PIAE 2026 zählen Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann, Leiter IKV, ikv-RWTH Aachen, Dipl.-Ing. Hartmut Häberle (Traton Group) und Dr. Leonardo Pascali, Head of Racing Audi Sport.

Schwerpunkte und Highlights der PIAE 2026 im Überblick:

- Leichtbau und Materialinnovationen: Neue Faserverbunde, Composites und thermoplastische Werkstoffe
- Design und Oberflächentechnologien: Smarte Oberflächen, Lichtintegration und automatisierte Beschichtung



Der Kongress wird von Fachausstellung begleitet, mit rund 70 Unternehmen (Archivbild PIAE 2025). Foto: VDI Wissensforum

- Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft: Rezyklate, Monomaterial-Designs und geschlossene Materialkreisläufe
- Künstliche Intelligenz und Digitalisierung: KI-gestützte Prozesse und digitale Zwillinge für Entwicklung, Qualitätssicherung und Serienfertigung
- Elektromobilität und funktionale Werkstoffe: Kunststoffe und Systemlösungen für Batterietechnik, Thermomanagement und Sicherheit im E-Fahrzeug

Die begleitende Fachausstellung mit rund 70 Unternehmen ermöglichte vertiefende Einblicke in die verschiedenen Themenbereiche. Im Autosalon werden aktuelle Serienfahrzeuge und visionäre Konzeptstudien namhafter Hersteller gezeigt. Dort werde sichtbar, wie Design, Funktion und Materialeinsatz ineinandergreifen: vom Exterieur über den Innenraum bis hin zu den tragenden Strukturen.

Parallel zur PIAE 2026 erweitert die Konferenz „Hochvoltbatterien in E-Fahrzeugen“ den fachlichen Horizont für alle, die Werkstoff- und Batteriekompetenz in interoperablen Systemen weiterentwickeln möchten. Vorteil: Für PIAE-Teilnehmende ist der Besuch dieser Parallel-Konferenz kostenfrei.

www.wissensforum.de

AUF EINEN BLICK:

PIAE - Internationaler Fachkongress zu Kunststoffen im Automobilbau plus Fachausstellung

- Ort: Baden-Baden
- Termin: 18. und 19. März
- Network-Party: 18. März
- Parallel: Konferenz „Hochvoltbatterien im E-Fahrzeugen“
- Veranstalter: VDI Wissensforum, 40002 Düsseldorf
- Anmeldung: www.vdi-wissensforum.de/piae oder Tel. (02 11) 62 14 – 20

EINSCHLAG- + ANSCHWEISSMÜTTERN

FLANSCHMÜTTERN

Limbach®-Mütern sind bewährt in vielen Industrien und handwerklichen Anwendungen:

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

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

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

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/Veröffentlichungsgrundlagen: www.konstruktion-online.de

Verlag

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

Geschäftsführung

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

Weitere Informationen:
www.konstruktion-online.de

Auflage IVW-geprüft



PI veröffentlicht MTP Specification 2.0

Profibus & Profinet International (PI) hat die offizielle Veröffentlichung der Module Type Package (MTP) Specification 2.0 bekannt gegeben. Mit den wesentlichen funktionalen Erweiterungen der neuen Version des Standards werde ein wichtiger Meilenstein für die modulare Automatisierung erreicht. MTP 2.0 schaffe die Grundlage für echte Interoperabilität, noch mehr Flexibilität und Effizienz bei der Planung, Integration und dem Betrieb modularer Anlagen – und das branchenübergreifend.

Die erforderlichen Nutzungsrechte für die MTP Specification 2.0 stehen Mitgliedsunternehmen wie gewohnt zur Verfügung, heißt es weiter. Damit werde sichergestellt, dass Unternehmen den Standard ohne zusätzliche Hürden in ihre Produkte, Engineering-Tools und Anlagenkonzepte integrieren können.

Die neue Version des Standards wurde laut PI nicht nur konzeptionell weiterentwickelt, sondern ist auch bereits praktisch erprobt: Mehrere Mitgliedsunternehmen haben MTP 2.0 implementiert und im Rahmen eines Plug-fests erfolgreich getestet. Die Ergebnisse bestätigen die Interoperabilität der Lösungen und die Anwendbarkeit der Spezifikation in realen Industrieumgebungen.

Mit MTP 2.0 wurden im Vergleich zu den bisherigen Versionen zentrale Erweiterungen und Verbesserungen umgesetzt, führt PI aus. Dazu zählen unter anderem eine nochmals optimierte Interoperabilität zwischen der Anlagenebene und Leitsystemen, funktionale Erweiterungen und eine klare Ausrichtung auf zukünftige Anforderungen der Prozessindustrie. Aufgrund der konsequenten Weiterentwicklung sei MTP 2.0 branchenübergreifend einsetzbar, von der Chemie- und Pharmaindustrie über Food & Beverage bis hin zu weiteren Industriezweigen.

PI setzt mit der Veröffentlichung von MTP 2.0 ein klares Signal für die Relevanz der modularen Automatisierung und unterstreicht den Anspruch, gemeinsam mit der Industrie offene, praxistaugliche und zukunftssichere Standards zu gestalten.

www.profibus.com

Auftraglage im Maschinenbau bleibt schwierig

Die Auftragslage im Maschinen- und Anlagenbau hat sich in den Schlussmonaten des Jahres 2025 wieder etwas erholt. Wie der VDMA mitteilt, folgte auf das Orderplus im Oktober auch im November ein realer Bestellzuwachs von 7 % im Vergleich zum Vorjahr. Für die elf Monate von Januar bis einschließlich November 2025 resultiert damit eine Stagnation auf Vorjahresniveau in den Auftragsbüchern. Zum Halbjahr hatten die Bestellungen im Maschinen- und Anlagenbau noch leicht über dem Vorjahreswert gelegen, danach folgten einige Monate mit teils kräftigen Rückgängen. Weiterhin schwach blieb im November das Inlandsgeschäft mit einem Rückgang von 9 %. Dagegen legten die Bestellungen aus dem Ausland um 14 % zu. Ein hohes Volumen an Bestellungen für Großanlagen verschaffte dem Nicht-Euro-Geschäft ein Plus von real 20 %, Orders aus dem Euro-Raum stiegen um 2 %. „Für das neue Jahr ist noch keine echte Auftragsdynamik absehbar, die zu einem kräftigeren



Dr. Johannes Gernandt, VDMA: „Für das neue Jahr ist noch keine echte Auftragsdynamik absehbar, die zu einem kräftigeren Wachstum führen würde.“ Foto: VDMA

Wachstum führen würde. Gerade um die Inlandsnachfrage zu stärken, bleibt die Bundespolitik in der Pflicht. Ankündigungen von Bundeskanzler Merz, es sei nun höchste Priorität, die Wirtschaft anzukurbeln, hören wir gerne. Aber den Worten müssen jetzt Taten folgen. Dazu bräuchte es dringend spürbare Reformen, die den industriellen Mittelstand entlasten – unter anderem niedrigere Unternehmenssteuern deutlich vor 2028, eine Rentenreform, eine Flexibilisierung des Arbeitsmarkts und ein konsequenter Bürokratieabbau“, sagt VDMA-Chefvolkswirt Dr. Johannes Gernandt.

Im weniger schwankungsanfälligen Dreimonats-Zeitraum von September bis November 2025 verbuchten die Unternehmen insgesamt ein Orderminus von real 3 %. Dabei sanken die Inlandsbestellungen um 4 %, das Ausland verbuchte einen Rückgang von 2 %. Aus den Euro-Ländern kamen 5 % weniger Bestellungen, die Aufträge aus den Nicht-Euro-Ländern stagnierten. www.vdma.org

Schaeffler und Humanoid schließen Partnerschaft

Schaeffler will nach eigenen Angaben seine Position als bevorzugter Technologiepartner im Bereich humanoider Robotik weiter ausbauen. Das Unternehmen hat dazu eine strategische Technologiepartnerschaft mit dem britischen Technologieunternehmen „Humanoid“ vereinbart.

Im Fokus der Kooperation stehen laut Schaeffler die Entwicklung und Lieferung von Schlüsselkomponenten, darunter innovative Aktoren, die sowohl in radgestützten als auch in zweibeinigen Humanoiden zum Einsatz kommen. Für radgestützte Systeme werde Schaeffler bevorzugter Lieferant von Aktoren. Zudem plane das Unternehmen in den kommenden fünf Jahren mehrere hundert Humanoide in sein globales Fertigungsnetzwerk zu integrieren, um damit die Automatisierung und Effizienz seiner Produktionsprozesse weiter zu steigern. Gemeinsam erfassen beide Unternehmen roboterspezifische und anwendungsbezogene Daten, um KI-Modelle zu trainieren und Roboterleistungen kontinuierlich zu optimieren.

Klaus Rosenfeld, Vorsitzender des Vorstands der Schaeffler AG: „Als Motion Technology Company wollen wir eine Schlüsselrolle im wachsenden Markt der humanoiden Robotik einnehmen.“ Mit Humanoid gewinne Schaeffler einen attraktiven Partner in Europa, der es ermögliche, gemeinsam Innovationen im Bereich der humanoiden Robotik voranzutreiben. www.schaeffler.de/de

Festo übernimmt Gummiwarenfabrik R. Neddermann GmbH



Übernahme Der bisherige Geschäftsführer und Inhaber der Neddermann GmbH, Matthias Knieß (r.), geht in den Ruhestand. Er hat die Führung an Sebastian Schill, Leiter der Technologiefabrik von Festo in Scharnhausen, übergeben. Foto: Festo

Mit der Übernahme der Gummiwarenfabrik R. Neddermann GmbH in Altbach (Kreis Esslingen) zum 1. Januar 2026 hat Festo nach eigenen Angaben seine Wettbewerbsposition in der Pneumatik gefestigt. Die Gummiwarenfabrik R. Neddermann GmbH sei ein führender Spezialist für die Entwicklung, Fertigung und den Vertrieb von Dichtungs- und Gummitechnik und bereits seit Langem ein zentraler Lieferant von Festo. www.festo.com

Neuer Höchststand beim weltweiten Marktwert installierter Industrie-Roboter

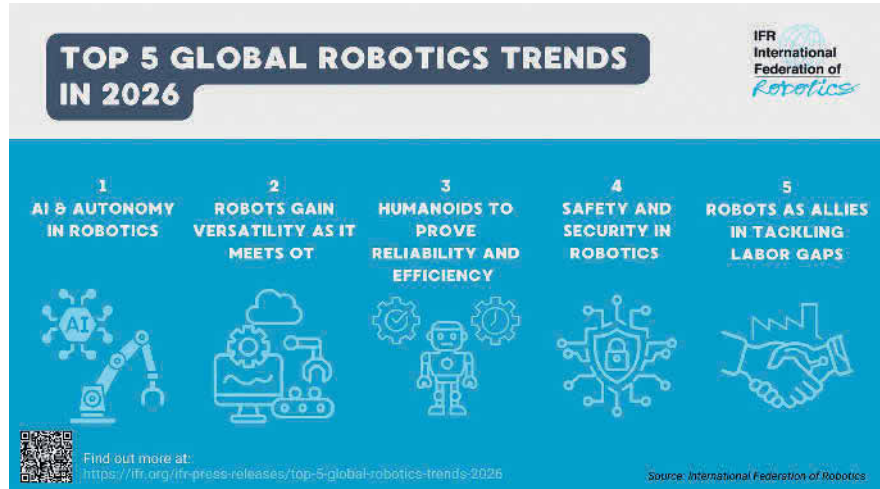
Der Marktwert installierter Industrie-Roboter hat mit 16,7 Mrd. US-Dollar weltweit einen neuen Höchststand erreicht. Die Nachfrage wird durch technische Innovationen, neue Marktentwicklungen und die Erschließung neuer Geschäftsfelder weiter angetrieben. Die International Federation of Robotics hat über die wichtigsten Trends berichtet, die die Robotik und Automation im Jahr 2026 prägen werden:

- KI und Autonomie in der Robotik Roboter, die mithilfe künstlicher Intelligenz selbständig arbeiten, werden immer häufiger eingesetzt. Wichtigster Vorteil KI-gesteuerter Roboter ist eine deutlich verbesserte Autonomie, die von verschiedenen KI-Arten unterstützt wird: Analytische KI hilft bei der Verarbeitung großer Datensätze und Mustererkennung und liefert Erkenntnisse zur praktischen Umsetzung. Roboter können damit beispielsweise in intelligenten Fabriken eigenständig mögliche Ausfälle prognostizieren oder in der Intralogistik die Tourenplanung und Ressourcenzuweisung übernehmen.

Generative KI ermöglicht hingegen einen Wandel von regelbasierter Automatisierung hin zu intelligenten, sich selbst weiterentwickelnden Systemen. GenAI kreiert dafür eigenständig neue Lösungswege und ermöglicht Robotern, neue Fähigkeiten und die Erledigung von Aufgaben autonom erlernen zu können sowie Trainingsdaten durch Simulation zu generieren. Ein wichtiger Trend zur Weiterentwicklung der Autonomie in der Robotik ist Agentic AI. Diese Technik kombiniert analytische KI für strukturierte Entscheidungsfindung und generative KI für Anpassungsfähigkeit. Der hybride Ansatz zielt darauf ab, moderne Robotik in die Lage zu versetzen, selbstständig in komplexen Umgebungen der realen Welt zu arbeiten.

- IT vernetzt mit OT macht Roboter vielseitiger

Eine steigende Nachfrage nach möglichst vielseitig einsetzbaren Robotern spiegelt sich im Markttrend zur verstärkten Konvergenz von Informationstechnik (IT) und operativer Technik (OT) wider. Die Vernetzung der Datenverarbeitungsleistung der IT mit den physischen Steue-



IFR-Prognose: Trends für Robotik und Automatisierung. Grafik: IFR

rungsfähigkeiten der OT steigert die Vielseitigkeit der Robotik durch Echtzeit-Datenaustausch, Automatisierung und fortschrittliche Analysen. Diese Integration bildet ein grundlegendes Element des digitalen Unternehmens und der Industrie 4.0.

- Zuverlässigkeit und Effizienz für humanoide Roboter

Die humanoide Robotik wächst rasant. Humanoide Roboter für den industriellen Einsatz gelten als vielversprechende Technik, wenn Flexibilität gefragt ist, typischerweise in Umgebungen, die für Menschen konzipiert sind. Vorreiter ist die Automobilindustrie, aber auch Anwendungen in der Lagerhaltung und Fertigung rücken weltweit in den Fokus. Unternehmen und Forschungseinrichtungen gehen inzwischen über Prototypen hinaus und arbeiten am Einsatz humanoider Roboter in der realen Welt. Schlüssel zum Erfolg sind dabei Zuverlässigkeit und Effizienz: Im Wettbewerb mit der traditionellen Automatisierung müssen humanoide Roboter den hohen industriellen Anforderungen hinsichtlich Zykluszeiten, Energieverbrauch und Wartungskosten gerecht werden. Industriestandards definieren zudem Sicherheitsniveaus, Haltbarkeitskriterien und konsistente Leistungskriterien von Humanoiden in der Fabrikhalle.

- Sicherheit und Schutz in der Robotik Weil Roboter zunehmend neben Menschen in Fabriken und Dienstleistungsreichen eingesetzt werden, ist die Ge-

währleistung ihres sicheren Betriebs für die Robotikbranche nicht nur wichtig, sondern unerlässlich. Mit der KI-gesteuerten Autonomie von Robotern verändert sich die Sicherheitslandschaft grundlegend, was Tests, Validierungen und die menschliche Aufsicht wesentlich komplexer, aber auch notwendig macht. Dies wird besonders deutlich beim vorgesehenen Einsatz humanoider Roboter. Robotersysteme müssen gemäß der ISO-Sicherheitsstandards und klar definierten Haftungsrahmen konzipiert und zertifiziert werden. Insbesondere im Zusammenhang mit KI in der Robotik und der Konvergenz von IT und OT ergeben sich eine Reihe von Sicherheitsbedenken, die eine robuste Governance mit klaren Haftungsregeln erfordern.

- Roboter als Verbündete gegen den Fachkräftemangel

Der Fachkräftemangel ist für Arbeitgeber weltweit ein Problem. Der gezielte Einsatz von Robotik und Automation ist eine wichtige Strategie, um dem Fachkräftemangel zu begegnen. Arbeitgeber profitieren davon, ihre Mitarbeitenden möglichst frühzeitig in den Transformationsprozess mit einzubeziehen. Schon bei der Einführung von Robotern spielt die enge Zusammenarbeit mit der Belegschaft eine entscheidende Rolle, um die Akzeptanz sicherzustellen – sowohl in der industriellen Fertigung als auch in den vielfältigen Dienstleistungsanwendungen.

www.ifr.org

Zukunft gestalten, Exzellenz ehren:

VDI zeichnet herausragende Ingenieurin und Ingenieure aus

Bei der Ehrungsveranstaltung im Dezember in Düsseldorf hat der VDI vier herausragende Persönlichkeiten geehrt: Prof. Albert Albers, Prof. Kira Kastell, Dr. Martin Dazer und Dr. Stefan Schurer wurden für ihre außergewöhnlichen Leistungen in Technik, Wissenschaft und ehrenamtlichem Engagement gewürdigt. Das Ehrenzeichen des VDI würdigt Persönlichkeiten, die sich in besonderer Weise für das Ingenieurwesen, den wissenschaftlich-technischen Fortschritt und die Gemeinschaftsarbeit im VDI eingesetzt haben.

- Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. **Albert Albers**,

Leiter des IPEK – Instituts für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), wurde für seine jahrzehntelangen Verdienste in Forschung, Lehre und ehrenamtlichem Engagement ausgezeichnet. Mit Exzellenz, Praxisnähe und Engagement hat er die Produktentwicklung in Deutschland und weltweit geprägt und seine Expertise in zahlreiche VDI-Gremien eingebracht. Seine Arbeiten zur methodischen Produktentwicklung prägen die Ingenieurausbildung bis heute.

- Prof. Dr.-Ing. **Kira Kastell**,

Präsidentin der Hochschule Hamm-Lippstadt, erhielt die Auszeichnung für ihr langjähriges Engagement für Gleichstellung, Nachwuchsförderung und Vielfalt im Ingenieurwesen. Sie prägt den VDI seit vielen Jahren auf Landes- und Bundesebene und setzt wichtige Impulse für mehr Chancengleichheit. In all ihren Funktionen inspiriert sie, fordert heraus und eröffnet neue Perspektiven – besonders für junge Frauen und angehende Ingenieurinnen.

Mit dem Ehrenring ehrt der VDI Ingenieurinnen und Ingenieure bis zum 40. Lebensjahr, die herausragende technisch-wissenschaftliche Leistungen erbracht haben.



VDI-Ehrungen VDI-Präsident Prof. Eckstein, Prof. Albers, Prof. Kastell, Dr. Schurer, Dr. Dazer, VDI-Direktor Willig (v.l.n.r.). Foto: Ivo Mayr

- Dr.-Ing. **Martin Dazer**,

Universität Stuttgart, erhielt den Ehrenring für seine wegweisende Arbeit in der Zuverlässigkeitsforschung. Er entwickelte und validierte ein Verfahren zur digitalen Zuverlässigkeitsprognose strukturmechanisch belasteter Produkte. Mit seiner kürzlich erfolgreich abgeschlossenen Habilitation hat Dr. Dazer seine wissenschaftliche Exzellenz eindrucksvoll unterstrichen.

- Dr.-Ing. **Stefan Schurer**,

MAN Truck & Bus SE, München, wurde für seine exzellenten Leistungen in der Zahnrad- und Werkstoffforschung geehrt. Seine Dissertation an der TU München zum Einfluss nichtmetallischer Einschlüsse auf die Zahnfußtragfähigkeit gilt dank ihrer wissenschaftlichen Tiefe und umfangreichen Experimentbasis heute als Referenzwerk für Fachleute aus Forschung und Industrie.

www.vdi.de

Mit VDI-Talks ins Jahr 2026 starten

Die Termine für die ersten VDI-Talks im neuen Jahr stehen fest:

Am 23.4.2026 dreht sich alles bei den Service Talks des Fachbereichs Technischer Vertrieb und Produktmanagement um das Thema „Erfolg im Service messbar machen: Service als strategischer Erfolgsfaktor“.

Für die Value Talks, die jeweils donnerstags von 17 bis 18 Uhr stattfinden, stehen bereits drei Termine fest:

- Am 5.2.2026 eröffnet Koen Schmitz von ProRail die Diskussion mit einem Impulsvortrag zum Thema Value Engineering in der Infrastruktur. Gezeigt werden spannende Beispiele für den erfolgreichen Einsatz bei Entwicklung und Umsetzung von Straßen-, Bahn- und Schleusenprojekten in den Niederlanden.
- Am 16.4.2026 lautet das Thema „Impacting the competitiveness of products with VA/VE – The 7 Challenges“ (dieser Talk wird ausnahmsweise auf Englisch stattfinden).
- Am 9.7.2026 geht es ums Ideenfinden mit TRIZ und KI.



VDI-Talks zu Service und Wertanalyse. Foto: gettyimages/morsa

Freuen Sie sich auf Impulse, Praxisbeispiele und eine spannende Diskussion – wie immer virtuell, kostenfrei und exklusiv für VDI-Mitglieder.

Weitere Informationen und Anmeldung unter www.vdi.de/valuetalks, www.vdi.de/service-talks

Prof. Lutz Eckstein als VDI-Präsident wiedergewählt

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lutz Eckstein wurde am 4.12.2025 einstimmig von der Vorstandsversammlung des VDI für weitere drei Jahre zum Präsidenten wiedergewählt. Der Präsident führt damit den größten technisch-wissenschaftlichen Verein Deutschlands in seiner zweiten Amtszeit bis 2028 weiter.

„Wir haben die Technologien, die klugen Köpfe und wegweisende Ideen. Jetzt brauchen wir den Mut zu größeren Zügen im globalen Schachspiel“, betonte Eckstein in seiner Rede auf der Vorstandsversammlung in Düsseldorf. Er warb eindringlich für eine strategische Erneuerung der deutschen Innovationspolitik. „Innovation beginnt mit Haltung: Vertrauen in Ingenieurinnen und Ingenieure, Vertrauen in Gestaltungskraft. Das ist die notwendige Voraussetzung für eine aktive Gestaltung der Zukunft“, sagt der wiedergewählte VDI-Präsident.

Anhand des 5-Ebenenmodells der Innovation erläuterte er, dass aus einer Erfindung nur dann eine Innovation wird, wenn der regulatorische Rahmen die jeweilige Forschung erlaubt und die ökonomischen Randbedingungen eine wettbewerbsfähige Industrialisierung ermöglichen, so dass Produkte und Verfahren entstehen, die nachgefragt werden.

Ein Schwerpunkt der Versammlung war auch in diesem Jahr die VDI-Initiative „Zukunft Deutschland 2050“. Die Initiative habe seit 2024 zahlreiche Impulse gesetzt, die auch durch regionale Dialogformate über Zukunftsszenarien in den Bereichen Energie, Qualifikation sowie Gesundheit in die Regionen Deutschlands hineingetragen wurden. Bereits Ende 2026 werden die verschiedenen Impulse zu Schlüsselbranchen und -technologien zu einem ganzheitlichen Zielbild 2050 zusammengelegt und betrachtet. Für seine zweite Amtszeit kündigte Prof. Lutz Eckstein an, das Thema Künstliche Intelligenz in enger Zusammenarbeit mit Part-



Prof. Lutz Eckstein wurde als VDI-Präsident einstimmig bestätigt. Foto: Ivo Mayr

nern wie der Gesellschaft für Informatik zu einem der Schwerpunkte der Initiative zu machen. Die Zukunft nahezu jeder Branche hänge maßgeblich vom intelligenten Einsatz von KI ab. Zum Abschluss seiner Rede rief er die Mitglieder dazu auf, ein neues Selbstverständnis des Ingenieurberufs zu entwickeln: „Wir müssen lernen, wie beim Schachspiel taktisch zu denken und unsere Figuren mutiger zu bewegen. Nur so gestalten wir die Zukunft – für Deutschland, für Europa und für die nächste Generation.“

Prof. Lutz Eckstein ist Leiter des Instituts für Kraftfahrzeuge an der RWTH Aachen. Neben seiner ehrenamtlichen Tätigkeit als Präsident des VDI, ist er im wissenschaftlichen Beirat des Bundesministeriums für Verkehr.

www.vdi.de

Erfinderisches Problemlösen mit TRIZ – Lösungssuche

VDI-Richtlinie 4521 Blatt 3 als neuer Weißdruck erschienen – Neufassung um Aspekte der KI-Nutzung ergänzt

Die Theorie des erfinderischen Problemlösens, TRIZ, ist eine Systematik von Annahmen, Regeln, Methoden und Werkzeugen zur innovativen Systemgestaltung von Produkten, Prozessen, Dienstleistungen oder Organisationen. TRIZ ist dabei unabhängig von bestimmten Feldern der Technik anwendbar.

Die Richtlinie VDI 4521 Blatt 3 behandelt Methoden und Werkzeuge, die schwerpunktmäßig in der Phase der Lösungssuche verwendet werden, wie solche zur Systemanalyse und direkten Lösungsfindung (Stoff-Feld-Analyse), Systemoptimierung (Trimmen), zur Prozessverbesserung, zur Prognose künftiger Systemkonfigurationen (Systemoperator und Evolution technischer Systeme) sowie zur Identifikation möglicher Fehler (antizipierende Fehlererkennung), die anschließend ausgeschlossen oder beispielsweise in einer FMEA behandelt werden können.

Die im Januar erschienene Neufassung der Richtlinie ist um Aspekte der KI-Nutzung ergänzt worden.

www.vdi.de/4521

HINWEIS ZUR RICHTLINIE:

Herausgeber der Richtlinie ist die VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (VDI-GPP). Die VDI 4521 Blatt 3 ist im Januar erschienen. Sie kann zum Preis ab 124,80 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/4521 oder www.dinmedia.de möglich. VDI-Richtlinien können in öffentlichen Auslegestellen kostenfrei eingesehen werden.

Hanfried Kerle verstorben

Im Alter von 84 Jahren verstarb am 7. November 2025 Dr.-Ing. Hanfried Kerle, Akademischer Direktor des „Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik“ an der TU Braunschweig. Einen hohen Bekanntheitsgrad erwarb er sich als Hauptautor (gemeinsam mit Prof. Corves und Prof. Hüsing) des Buchs Getriebetechnik.

Der TU Braunschweig war Dr. Kerle bereits seit Studienbeginn im Jahre 1961 verbunden, nach seinem Studium als wissenschaftlicher Mitarbeiter, dann als Oberingenieur und Akademischer Oberrat am Institut für Getriebelehre und Maschinendynamik. 1994 wurde er Lehrbeauftragter für „Getriebelehre/Mechanismen“ an der TU Braunschweig.

Im VDI hat sich Dr. Kerle über mehr als 25 Jahre hindurch in verschiedenen Fachgremien, insbesondere in der Richtlinienarbeit engagiert. Von 1977 an war er Mitglied des Fachbeirats „Getriebetechnik“ und Obmann mehrerer Fachausschüsse des VDI, zwischenzeitlich über zehn Jahre lang Mitglied des Beirats der VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb. 2003 wurde er für seine großen Verdienste mit der Ehrenplakette



Dr.-Ing. Hanfried Kerle. Foto: IGMR, RWTH Aachen

des VDI ausgezeichnet. Aber auch danach war er dem VDI weiterhin verbunden und gern gesehener Vortragender auf der VDI-Getriebetagung. Außerdem engagierte sich Dr. Kerle in der International Federation for the Promotion of Mechanism and Machine Science (IFTToMM) in technischen Gremien und der Member Organisation Germany.

Eine engagierte und vertrauensvolle Zusammenarbeit pflegte Dr. Kerle mit dem

Institut für Getriebetechnik, Maschinendynamik und Robotik (IGMR) der RWTH Aachen. Mit seiner fachlichen Exzellenz, seinem Weitblick und seiner Kollegialität hat er die Getriebetechnik nachhaltig geprägt und unser Institut bereichert.

Zu Jahresbeginn 2024 hat Hanfried Kerle dem IGMR eine weitreichende Sammlung von Fachbüchern zur Getriebetechnik sowie technisch historischen Kleinrechnern gespendet. Diese außergewöhnliche Geste seiner Verbundenheit mit Forschung und Lehre werden wir in Ehren halten. Die Hain-Kerle-Sammlung wird als Quelle des Wissens und als lebendiges Andenken an sein Wirken in Lehre und Forschung weiterwirken.

Unser tiefes Mitgefühl gilt seiner Frau Reinhild und seiner Familie. Wir werden Hanfried Kerle stets ein ehrendes Andenken bewahren. Er bleibt uns als hochgeschätzter Partner und Freund in dankbarer Erinnerung.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Burkhard Corves,

Vorsitzender des Fachbereichs Getriebe und Maschinenelemente der VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung

Neues Wiki verbindet Safety und Security

Die oft widersprüchlichen Anforderungen an Safety- und Security-Funktionen waren Anlass, im Fachbereich Sicherheit und Zuverlässigkeit des VDI den Fachausschuss Safety & Security einzurichten. Das Expertengremium aus Industrie, Forschung und sicherheitsrelevanten Organisationen war sich schnell einig: Safety und Security sind zwei Perspektiven auf ein gemeinsames Ziel – den Schutz von Menschen, Technik und Gesellschaft. Als zentrales Ergebnis seiner Arbeit präsentiert der Fachausschuss das neue VDI-Wiki Safety & Security.

In einer zunehmend komplexen und vernetzten Welt braucht es neue Formen der Zusammenarbeit, um Risiken ganzheitlich zu verstehen und technische Sicherheit zukunftsfähig zu gestalten. Während Security den Schutz vor vorsätzlichen Angriffen und Manipulationen adressiert, zielt Safety auf die Vermeidung unbeabsichtigter Schäden, etwa durch technische Defekte oder Fehlhandlungen. In der Praxis geraten diese Ziele häufig in Spannung zueinander – etwa, wenn verriegelte Türen zwar Einbrecher ab-

halten (Security), aber im Brandfall Fluchtwege behindern (Safety).

Mit der fortschreitenden Digitalisierung, der zunehmenden Vernetzung und der steigenden Bedrohungslage wächst die Notwendigkeit, beide Disziplinen gemeinsam zu betrachten. Um die bestehenden Herausforderungen und Lösungsansätze sichtbar zu machen, wurde die interaktive Wiki-Plattform aufgebaut. Sie dokumentiert den Stand des Wissens zu Safety und Security in verschiedenen technischen Disziplinen – von Automotive über Industrieanlagen und Luftfahrt bis hin zu Kritischen Infrastrukturen – und macht ihn als offene Wissensquelle erstmals systematisch zugänglich. Sie wird kontinuierlich erweitert und kuratiert. Damit leistet der VDI einen Beitrag zur Entwicklung einer zukunftsfähigen technischen Sicherheitskultur, in der menschliche Erfahrung, Ingenieurwissen und digitale Intelligenz zusammenwirken.

www.vdi.de/safety-security



Bild 1 Die Slim PM und die High Torque Permanentmagnetbremsen teilen sich eine identische Motorschnittstelle. Foto: Kendrion

Alle Drehmomentbereiche mit demselben Grundkonzept

Bremsen im Baukastensystem

Servomotoren treiben Roboterarme, Werkzeugspindeln und Fördersysteme an. Der Markt wächst seit Jahren stabil. Doch das Wachstum bringt Motorenhersteller zunehmend in eine Zwickmühle. Aufgrund der steigenden Anzahl der Anwendungsmöglichkeiten, steigen auch die Anforderungen ihrer Kunden. Kompaktheit, Effizienz und eine Vielzahl an Ausstattungsoptionen treibt die Variantenvielfalt in die Höhe. Aufgrund der sich abzeichnende Tendenz der Kommoditisierung steigt auch der Wettbewerbsdruck. Wer in diesem Umfeld bestehen will, muss Komplexität durch Modularität eindämmen – ohne Abstriche bei den technischen Eigenschaften.

Getrieben von Automatisierung, Robotik und dem allgemeinen Maschinenbau wächst der Markt für Servomotoren dynamisch. Bis 2029 soll das Marktvolumen 20,5 Mrd. US-Dollar erreichen. Auffällig dabei: Rund 70 % der Anwendungen bewegen sich im Mid- und Low-Torque-Bereich – also genau dort, wo die Nachfrage nach kompak-

ten, kostensensitiven und gleichzeitig leistungsstarken Komponenten am höchsten ist. Bremsentechniken nehmen dabei eine Schlüsselrolle ein, denn rund ein Drittel aller Servoantriebe wird mit Bremse ausgeliefert, um Sicherheit und Stabilität in dynamischen Bewegungsabläufen sicherzustellen.

Mit der Slim PM adressiert Kendrion dieses Segment. Die neue Baureihe ergänzt die bestehende High Torque Line,

die auf High-Torque-Anwendungen ausgelegt ist. Beide Produkte teilen sich eine identische mechanische und elektrische Schnittstelle. Für Motorenhersteller bedeutet das: eine Baukastenlogik, die es erlaubt, unterschiedliche Motorendrehmomentbereiche mit derselben Bremsentechnik abzudecken.

„Wir wollten eine Permanentmagnetbremse entwickeln, die sich nahtlos in die bestehenden Strukturen integrieren lässt“,

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

sagt Waldemar Schaermann, Produktmanager bei Kendrion. „Darum haben wir die Slim PM nicht als isolierte Lösung gedacht, sondern als Partner der High Torque Line. Das eröffnet OEMs die Möglichkeit, ihre Motorenfamilien schlanker zu projektieren und montagefreundlicher auszulegen.“

Die Slim PM wurde von Beginn an auf den Spagat zwischen technischer Leistungsfähigkeit und wirtschaftlicher Fertigung ausgelegt. Ihr Design ist kompakt, die Leistungsdichte hoch. Durch material- und prozessoptimierten Aufbau ist sie leichter und kostengünstiger als die aktuell marktüblichen Modelle – Vorteile, die im Volumenmarkt zählen.

Noch entscheidender für OEMs ist die Schnittstellenfrage. Die Slim PM nutzt dieselbe Motoranbindung und dasselbe Rotorsystem wie die High Torque Line. Das hat weitreichende Folgen:

1. Die Montageprozesse bleiben identisch, unabhängig davon, welche Bremse verbaut wird.
2. Kleinerer mechanischer und regelungstechnischer Designaufwand im Servomotor.
3. Mehr Flexibilität im Baukastensystem
4. Einheitliche interne und externe Dokumentation zur verbauten Bremsentechnik.

Gerade bei großen Stückzahlen könne der durchgehende Einsatz einer Technik enorme Wirkung entfalten, meint Schaermann. Und weiter: „Jeder zusätzliche Handgriff im Montageprozess kostet Zeit und Geld. Mit der Slim PM bieten wir eine Lösung, die Raum für höhere Montageautomatisierung eröffnet und den Kunden entlastet, ohne dass er Kompromisse bei der Technik eingehen muss.“

Dieselbe Systemarchitektur für beide Baureihen

Das Zusammenspiel von Slim PM und High Torque Line macht den Unterschied. Während die High-Torque-Bremsen für Anwendungen mit hohen Drehmomenten konzipiert sind, deckt die drehmomentreduzierte Slim PM den Massenmarkt der Mid- und Low-Torque-Antriebe ab. Beide Baureihen greifen jedoch auf dieselbe Systemarchitektur zurück.

Für Motorenhersteller bedeutet dies, dass eine Technikplattform ausreicht. Das senkt den Abstimmungsaufwand in Entwicklung und Applikation. Gleichzeitig



Bild 2 Die Slim PM ist eine Permanentmagnetbremse, die speziell für Servomotoren im Low- und Mid-Torque-Bereich entwickelt wurde. Foto: Kendrion

lassen sich Motorenbaureihen einfacher skalieren, weil der Wechsel zwischen Mid- und High-Torque keine Änderungen am Motordesign, an Regelparametern oder Montageabläufen nach sich zieht. Ein weiterer Vorteil ergibt sich durch die Möglichkeit, die Bremse bedarfsgerecht nach dem erforderlichen Motordrehmoment einzusetzen. Überdimensionierte Bremsen im Low- und Mid-Torque Servomotoren gehören damit der Vergangenheit an.

Für Anwendungen mit hohen Stückzahlen

Die Slim PM ist für die Anwendungen ausgelegt, in denen Motorenhersteller mit hohen Stückzahlen rechnen: Robotik, Fördertechnik, Werkzeug- und Verpackungsmaschinen sowie Automatisierungstechnik. Überall dort, wo Dynamik gefragt ist, aber hohe Drehmomente nicht im Vordergrund stehen, spielt die Bremse ihre Stärken aus.

Besonders in der Robotik kommt die kompakte Bauweise zum Tragen. Enge Einbauräume und modulare Achskonzepte verlangen nach Komponenten, die technisch belastbar, präzise und gleichzeitig schlank konstruiert sind. Gleiches gilt für Verpackungsmaschinen, in denen immer kürzere Taktzeiten umgesetzt werden, ohne dass das Gesamtsystem größer werden darf.

Neben der Technik setzt Kendrion auch auf die Nähe zu seinen Kunden. Mit Standorten in Europa, den USA und Asien kann das Unternehmen OEMs weltweit bedienen und gleichzeitig auf regionale

Besonderheiten eingehen. Anpassungen an projektspezifische Anforderungen lassen sich durch die Verzahnung von Entwicklung und Fertigung kurzfristig realisieren.

Waldemar Schaermann sieht darin einen entscheidenden Punkt: „Eine gute Bremse allein reicht nicht. Wir müssen sie in den Kontext der Kundenapplikation einordnen und dort Mehrwert schaffen. Dafür braucht es Dialog, schnelle Iterationen und ein Systemdenken, das über das einzelne Bauteil hinausgeht.“

Die Markteinführung der Slim PM ist mehr als die Vorstellung eines neuen Produkts. Sie markiert den Schritt hin zu einem System, das technische Vielfalt ohne Mehraufwand beherrschbar macht. Für den OEM heißt es mehr Flexibilität, mehr Standardisierung, weniger Komplexität. Der Baukasten aus Slim PM und High Torque Line ist damit ein Werkzeug, das den Spagat zwischen wachsendem Markt und steigendem Kostendruck erleichtert.

„Mit der Slim PM haben wir unseren Bremsen-Baukasten komplettiert“, resümiert Schaermann. „Der Motorenhersteller kann nun von Low-Torque bis High-Torque in einer Systemwelt bleiben. Das macht seine Arbeit einfacher – und genau das war unser Ziel.“

Kontakt

Kendrion Intorq GmbH
31855 Aerzen
Tel. (0 51 54) 7 05 34 – 0
www.kendrion.com



Bild 1 Beim Entwickeln der Hochleistungsenergiekette TKHP wurden erstmals 3D-Druck und 3D-Scan durchgängig kombiniert. In der Serie bleibt der Spritzguss bei der TKHP das Verfahren der Wahl. Foto: Tsubaki Kabelschlepp

Testphasen schneller und kostengünstiger durchlaufen

Mit 3D-Druck schneller zur kundenspezifischen Energiekette

Nachhaltigkeit bedeutet nicht nur, Energie zu sparen oder Recyclingmaterial einzusetzen – das Thema prägt auch zunehmend Fertigungstechniken und Entwicklungsprozesse. Ein Beispiel: Außer klassischem Spritzguss bringt ein Hersteller von Energieketten seit neuestem die Additive Fertigung zum Einsatz. Sie ermöglicht es, Musterteile in kürzester Zeit zu erzeugen und Testphasen deutlich schneller und kostengünstiger zu durchlaufen. Ein Ansatz, der Nachhaltigkeit mit technischer Innovation verbindet.

Wer im vergangenen Jahr an Heiligabend das Weihnachts-Set eines großen Klemmbau-stein-Anbieters ausgepackt hat, hielt gleichzeitig auch einen Experimentierkasten in der Hand. Der weltbekannte Spielzeughersteller und Spritzgießer hat erstmals ein Teil aus dem 3D-Drucker in seine Bausätze integriert. Eine kleine blaue Lok. Mit deutlich anderer Oberflächenoptik, aber dem gewohnten Verbindungsmechanismus. Warum das interessant ist? Das dänische Familienunternehmen befasst sich bereits seit ge-

raumer Zeit mit dem Thema Nachhaltigkeit und forscht in diesem Zusammenhang beispielsweise an alternativen Materialien für seine Klemmbausteine.

„Wir sehen in dieser kleinen blauen Lok einen Testballon, mit dem die Kundenakzeptanz ermittelt werden soll“, sagt Peter Pütz, Vice President Marketing & Innovation bei Tsubaki Kabelschlepp. „Aber warum weicht ein klassischer Spritzgießer auf einmal von seinen Kernkompetenzen ab? Zum einen zeigt das, dass die Teile mittlerweile nutzbar sind und zum anderen, dass man damit eine ganz andere Produktionsstrategie fahren kann.“

Auch Tsubaki Kabelschlepp ist ein traditioneller Spritzgießer, der ebenfalls an nachhaltigen Materialien und Prozessen forscht. In diesem Zusammenhang erprobt das Unternehmen aktuell die Möglichkeiten der Additiven Fertigung in seinen Produkten und Entwicklungsprozessen. „Die additive Fertigung spielt für uns eine große Rolle, weil wir damit wahnsinnig viel Zeit sparen können“, so Pütz. „Außerdem sparen wir Ressourcen und haben komplett neue Möglichkeiten, unsere Produkte zu testen. Daran gekoppelt ist das 3D-Scanning ein weiteres wichtiges Thema für uns.“

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

3D-Druck und -Scans beschleunigen Entwicklung

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

„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 – wie früher – 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 bringt Tsubaki Kabelschlepp ausschließlich dort zum Einsatz, wo sie bei gleicher Qualität funktional oder wirtschaftlich einen Mehrwert bieten.

Musterfertigung für kundenspezifische Projekte

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



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



Bild 3 Entwicklungsbeschleuniger 3D-Scanning: Statt jede Optimierungsstufe mit aufwendigen taktilen Messreihen zu verifizieren, können erste Muster vollständig gescannt und automatisch mit den CAD-Sollgeometrien abgeglichen werden. Foto: Tsubaki Kabelschlepp

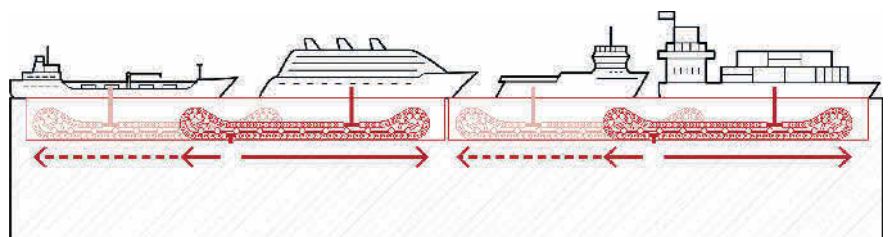


Bild 4 3Dgedrucktes Muster für den Bereich Landstrom (a); Energiekettenysteme für Landstromanlagen: On Shore Power System (b). Foto: Tsubaki Kabelschlepp

war so nicht „in der Schublade“ vorhanden, sondern 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 – nicht mehr und nicht weniger.

Additive Fertigung und Nachhaltigkeit

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 Iterationsschleifen, Transportwege für Muster und der Aufwand in begleitenden Prüfprogrammen.



Bild 5 Energiekettensystem für Landstromanlagen. Foto: Tsubaki Kabelschlepp

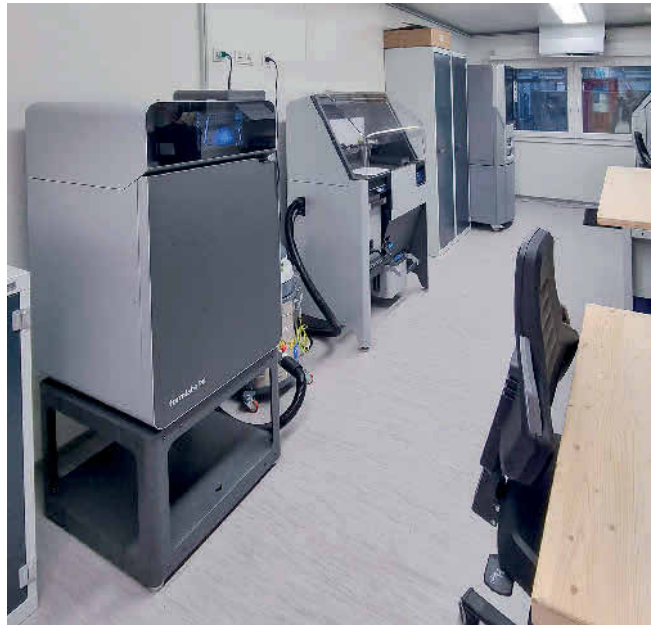


Bild 6 Tsubaki Kabelschlepp hat seine Additive Fertigung als Containerlösung organisiert. Drucker, Aufbereitungsanlage und Peripherie sind in einem Allwettercontainer zusammengefasst, der wie eine Spritzgussmaschine verwaltet wird – inklusive Anbindung an das ERP-System. Foto: Tsubaki Kabelschlepp

• **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. Wenn ein Werkzeug nicht benötigt wird – etwa bei Kleinserien, Anlaufmustern oder Sonderlösungen – spart additive Fertigung signifikant Ressourcen.

• **Anwendungsgrenzen respektieren.**

Dass der 3D-Druck den Spritzguss ablöst, davon sind wir weit entfernt“, ordnet Peter Pütz ein. „Kunststoffeigenschaften, Stückzahlen, Oberflächenanforderungen oder Zykluszeiten sprechen in der Serie oft weiterhin für den Spritzguss.“

Wirtschaftlichkeit und hybride Ansätze

Auch in punkto Wirtschaftlichkeit kann die Additive Fertigung im Vergleich zum Spritzguss eine interessante 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 – bevor das erste Teil die Maschine überhaupt verlassen hat. Im 3D-Druck entfällt diese Hürde.“

Um Werkzeugkosten zu sparen, denkt Tsubaki Kabelschlepp außerdem über hybride Ansätze nach: So könnten einfache Spritzgusswerkzeuge aus speziellen Hochleistungskunststoffen additiv hergestellt werden. Für Prototypen-Spritzguss und kleine Losgrößen ergeben sich so erstaunlich hochwertige 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 Peter Pütz Möglichkeiten und Grenzen. „Für Prototypen und Pilotserien wäre das Verfahren jedoch hervorragend geeignet.“

Additive Fertigung als flexible Containerlösung

Damit die neue Technik nicht „irgendwo im Raum“ steht, hat das Unternehmen seine Additive Fertigung konsequent 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 Tsubaki Kabelschlepp sein Fabriklayout kontinuierlich weiterentwickelt, kann

der Container innerhalb des Werks veretzt 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.

Für Tsubaki Kabelschlepp gilt: Qualität geht vor Quantität. Additive Fertigung und 3D-Scanning sind kein Selbstzweck, sondern Werkzeuge, um bessere Produkte schneller, sicherer und ressourcenschonender zu entwickeln. Wenn additive Fertigung die beste Lösung ist, setzt das Unternehmen sie ein. Wenn Spritzguss überlegen ist, wird diese Lösung eingesetzt. Und wenn beide Techniken zusammen die nachhaltigste Lösung ergeben, werden sie kombiniert.

Kontakt

Tsubaki Kabelschlepp
57482 Wenden-Gerlingen
Tel. (0 27 62) 40 03 – 0
info@kabelschlepp.de
www.kabelschlepp.de

Für unterschiedliche Palettenformate und Bandpositionierungen

Umreifungsbänder an Paletten automatisiert entfernen

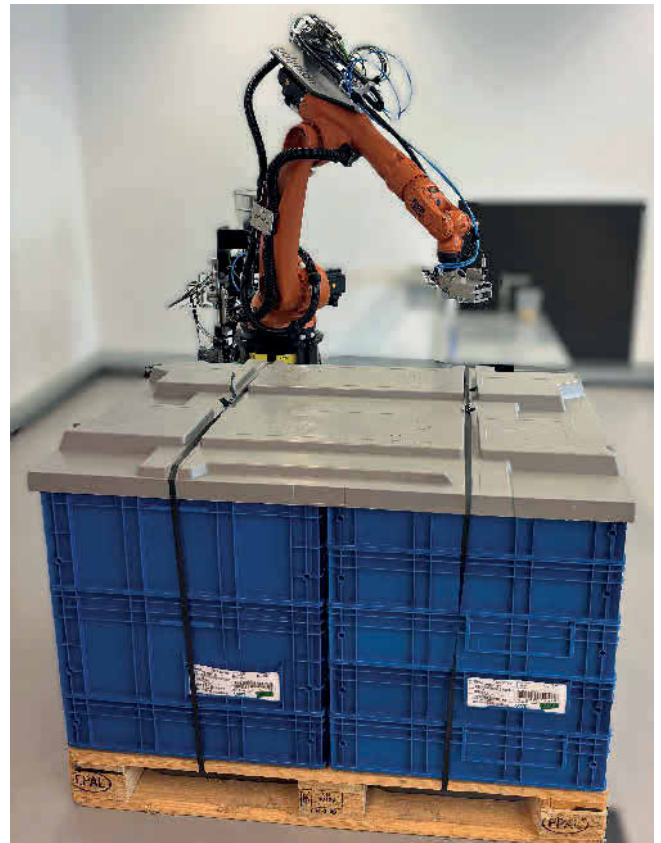
Mit einem Robotersystem können zeitaufwendige und ergonomisch belastende manuelle Arbeitsschritte ersetzt werden, die in Warenlagern oder Logistikzentren anfallen. Das System ermöglicht das automatisierte Entfernen von Umreifungsbändern an Paletten.

Mit Polycut präsentiert Polyplan ein innovatives Robotersystem für das automatisierte Entfernen von Umreifungsbändern an Paletten: Die Lösung ersetzt zeitaufwändige und ergonomisch sehr belastende, manuelle Arbeitsschritte, wie sie in Warenlagern und Logistikzentren anzutreffen sind. Polycut kann sowohl als Stand-alone-Lösung mit eigener SPS und Sicherheitstechnik betrieben als auch in vorhandene Palettenhandlungssysteme und deren Steuerungen und Sicherheitssysteme oder übergeordnete Warenleitsysteme eingebunden werden. Dadurch erfüllt das Robotersystem unterschiedlichste Einsatz- und Integrationsszenarien. Die Umsetzung individueller Automatisierungswünsche durch Polyplan erhöht die Flexibilität von Polycut zusätzlich.

Polycut besteht aus zwei Komponenten: zum einen dem Roboterschneidkopf, der die Umreifungsbänder an Paletten, die mit KLT-Behältern oder Paketen beladen sind, erkennt und entfernt, und zum anderen der Übergabeeinheit, die die Reste der Umreifungsbänder vom Roboter übernimmt und aus dem Arbeitsbereich entfernt.

Mit Hilfe eines Laserlichtschnitt-Sensors, der die Palettenseiten abtastet, erkennt Polycut das Umreifungsband an der Palette in jeder Position und auch bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen im Umfeld, unterschiedlichen Farbgebungen des Kunststoffbandes oder bei einer verdrehten oder gespleißten Umreifung. Dadurch kann der Roboterschneidkopf unterschiedlichste Palettenformate und Bandpositionierungen zuverlässig meistern. Das Durchtrennen des Bandes erfolgt mit einem pneumatisch betätigten Messer. Ein Niederhalter übernimmt beim Schnitt das Klemmen des Bandes. Müssen nach der Installation von Polycut weitere Palettenformate erkannt oder neue Varianten von Umreifungsbändern entfernt werden, braucht der Anwender des Robotersystems keine neuen Parametrierungen vorzunehmen. Dies macht Polycut zu einer bedienfreundlichen wie auch zukunftsicheren Lösung.

Polycut lässt sich durch Entsorgungsmodule zur Abfallsammlung oder zum Schreddern des Umreifungsmaterials erweitern, die die Reste des Umreifungsbandes nach dem Durchtrennen automatisch entsorgen. Um Taktzeit zu optimieren und damit den Durchsatz zu erhöhen, können auch mehrere Übergabemodule zur Entsorgung der Schneideinheit verbaut werden. Darüber hinaus ist auch eine nahtlose Integration von Polycut in eine robotergeführte Polystack-Depalettierstation von Polyplan möglich.



Mehr Effizienz und Ergonomie in Wareneingangsprozessen ermöglicht das Robotersystem Polycut für das automatisierte Entfernen von Umreifungsbändern an Paletten. Foto: Polyplan GmbH

Kontakt

Polyplan Polyurethan-Maschinen GmbH
82064 Strasslach
Jan Jacobi, Leiter Vertrieb, Aftersales und Marketing
Tel. (0 81 70) 93 05 – 48
jan.jacobi@polyplangmbh.de
www.polyplangmbh.de



Bild 1 Die gigantischen Wellpappenanlagen von BHS Corrugated können bis zu 200 m lang sein. Foto: BHS Corrugated

Elektrische Verbindungstechnik für automatisierte Maschinen

Verbindungslösungen für Wellpappenanlagen

Bei der Fertigung komplexer Produktionsanlagen für Wellpappe setzt BHS Corrugated auf ein hohes Maß an Automatisierung und Modularität. Ein wesentlicher Bestandteil: zuverlässige Verbindungslösungen für Antriebs-, Steuerungs- und Schaltschranksysteme.

O b Versandkarton, Verpackungslösung oder Display: Wellpappe ist aus der modernen Logistik- und Konsumwelt nicht wegzudenken. Was auf den ersten Blick einfach wirkt, ist in Wahrheit ein komplexes High-Tech-Produkt: leicht, stabil, recyclingfähig und dabei hoch individualisierbar. Um den stetig steigenden Anforderungen an das Material gerecht zu werden, benötigen Wellpappenhersteller modernste Maschinen- und Anlagentechnologie.

Mit dieser kennt man sich bei der BHS Corrugated Maschinen- und Anlagenbau

GmbH bestens aus. Die Geschichte des Unternehmens mit Sitz im bayrischen Weiherhammer reicht bis ins Jahr 1717 zurück, als am Standort eine Eisenhütte gegründet wurde. 1960 nimmt die heutige BHS Corrugated den Geschäftsbereich Wellpappenanlagen in ihr Portfolio auf – und hat sich seitdem zu einem der weltweit führenden Lösungsanbieter für die Wellpappenindustrie entwickelt. Das Unternehmen beschäftigt mittlerweile mehr als 3.500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in 20 Ländern und erzielte 2024 einen Umsatz von 827 Mio. Euro.

Das Portfolio von BHS Corrugated umfasst komplette Wellpappenwerke, Ma-

schinen, Anlagen und Industrie 4.0-Lösungen ebenso wie Logistikkonzepte und Drucktechniken. Die gigantischen Produktionsanlagen, die für die Herstellung von Wellpappe eingesetzt werden, können bis zu 200 m lang sein.

Aufgebaut sind sie deshalb modular: Die einzelnen Anlagenteile werden an verschiedenen internationalen Standorten des Unternehmens zusammengebaut und anschließend per LKW oder Seefracht zum Kunden transportiert. Erst dort erfolgen die Endmontage und Inbetriebnahme der kompletten Wellpappenlinie.

Elektrische Verbindungstechnik ist in den hochautomatisierten Maschinen un-

verzichtbar. In der Antriebs- und Steuerungstechnik sowie im Schaltschrankbau kommen unterschiedlichste Arten von Kabeln und Leitungen zum Einsatz – der Großteil davon aus dem Hause Helukabel: Der Systemanbieter ist schon seit Jahrzehnten ein Lieferant von BHS Corrugated – auch aufgrund eines Produktportfolios, das sämtliche Anforderungen und Anwendungsbereiche abdeckt.

Technische Vielfalt und globale Anforderungen

Verbaut werden zum Beispiel Steuer- und Anschlussleitungen wie die vielseitige JZ-500, Datenleitungen wie die flexible Tronic-CY, Servoleitungen der Serie Topserv oder Topflex-Motorleitungen. Vor allem in der Schaltschrankverdrahtung finden sich zudem die Einzeladern der Produktfamilie Fivenorm: Sie sind nach fünf verschiedenen internationalen Normen zertifiziert und damit für den weltweiten Einsatz geeignet – „ein wichtiges Kriterium für uns, schließlich exportieren wir viele unserer Wellpappenanlagen in die USA, nach China oder in andere internationale Märkte“, schildert Markus Schrödl, Elektrotechnik-Spezialist bei BHS Corrugated. „Globale Approbationen sind deshalb bei den Komponenten, die wir verwenden, oft zwingend vorgeschrieben.“

Auch für die automatisierte Verarbeitung und Bedruckung mit einer Komax-Maschine, wie es bei BHS Corrugated der Fall ist, sind die Fivenorm-Einzeladern ideal geeignet.

Anschlussfertig an den Arbeitsplatz

Die Leitungen, die für die Montage der einzelnen Anlagenmodule in Weiherhammer benötigt werden, bezieht BHS Corrugated größtenteils über einen in der Nähe ansässigen Konfektionär. Dieser stellt die Kabel nicht nur in der jeweils gewünschten Länge und mit den passenden Steckverbindern versehen bereit, sondern auch vorsortiert auf eigens dafür konzipierten Montagewagen, die direkt an den verschiedenen Stationen der Linienfertigung platziert werden.

„Unsere Mitarbeiter müssen die Leitungen nur noch der Reihe nach entnehmen und an der richtigen Stelle in der Maschine platzieren – das spart eine Menge Zeit und Aufwand“, erklärt



Bild 2 Die einzelnen Anlagenteile werden bei BHS Corrugated zusammengebaut und anschließend zum Kunden transportiert – erst dort erfolgt die Endmontage. Foto: Helukabel

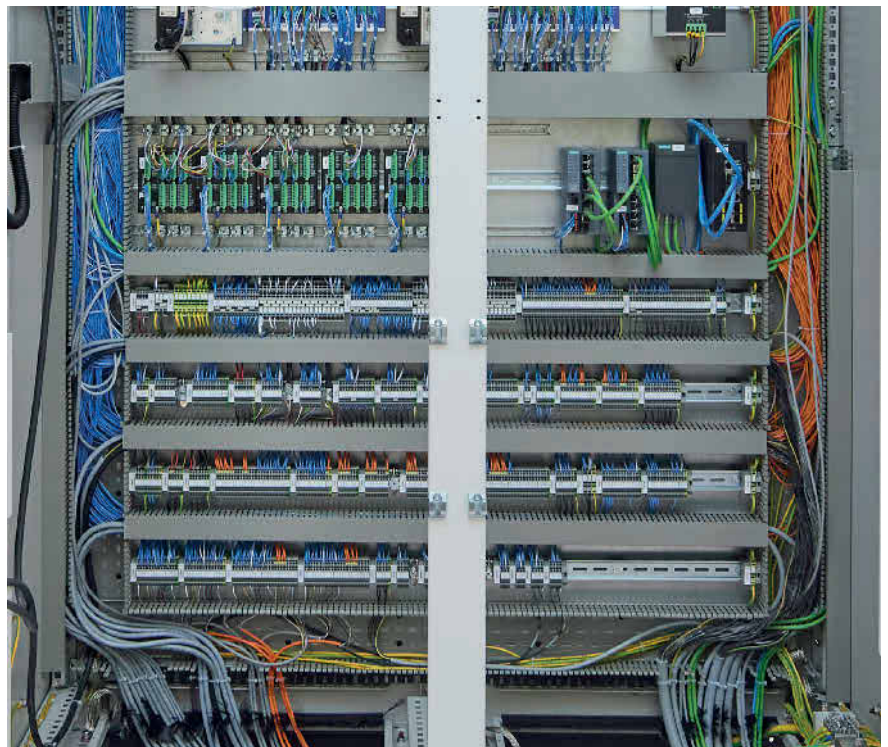


Bild 3 Im Schaltschrankbau kommen unterschiedliche Kabel und Leitungen zum Einsatz. Foto: Helukabel

Schrödl. Weitere Produkte für die Endmontage beim Kunden werden passgenau mit der Maschine vor Ort angeliefert.

Ein zusätzlicher Pluspunkt ist für den Experten die internationale Verfügbarkeit der Helukabel-Produkte. Das Unternehmen ist mit 76 Standorten rund um den Globus vertreten – und kann somit si-

cherstellen, dass Ersatzteile im Servicefall schnell zur Hand sind. „Für einen Anbieter wie BHS Corrugated, der weltweit installierte Anlagen betreut, ist dies ein echter Wettbewerbsvorteil“, weiß Thomas Puchta, der als Gebietsverkaufsleiter bei Helukabel erster Ansprechpartner für BHS Corrugated ist.



Bild 4 Die Leitungen werden zugeschnitten, mit den passenden Steckverbindern und vorsortiert in die Montage geliefert. Foto: Helukabel

Dessen freundliche Beratung und technische Kompetenz werden von Markus Schrödl ebenfalls mit Lob bedacht: „Der unkomplizierte und offene Austausch mit dem Vertriebsteam von Helukabel hat unsere Zusammenarbeit geprägt und kontinuierlich weiterentwickelt“, findet er. Auch der Innendienst sei bei Anfragen stets gut erreichbar und immer um eine schnelle und zufriedenstellende Lösung

bemüht. Die gute und übersichtliche technische Dokumentation auf der Website tue ihr Übriges, damit sich die Verantwortlichen von BHS Corrugated bei Helukabel rundum gut aufgehoben fühlen.

Seine große Wertschätzung brachte der Anlagenbauer dann auch auf ganz besondere Weise zum Ausdruck: Im Juli 2025 wurde Helukabel von BHS Corrugated als „Preferred Supplier“, also als bevorzugter

Lieferant ausgezeichnet. Group Chief Operating Officer (COO) Christian Schneider reiste persönlich nach Hemmingen, um die großartige Neuigkeit zu überbringen. „Wir freuen uns sehr über diese Auszeichnung, denn sie ist ein Beleg für die vertrauensvolle und partnerschaftliche Zusammenarbeit zwischen uns und BHS Corrugated“, erklärt Thomas Puchta.

Rund 95% aller bei BHS Corrugated verbauten Leitungen stammen mittlerweile von Helukabel – und weitere Projekte sind bereits in Planung. „Unsere beiden Unternehmen teilen den Anspruch, durch Qualität und Innovationskraft Maßstäbe zu setzen – und gemeinsam Lösungen zu entwickeln, die auch zukünftigen Anforderungen gerecht werden“, betont Markus Schrödl. „Deshalb wird die Verbindungstechnik von Helukabel auch künftig ein zentraler Bestandteil unserer Maschinen und Anlagen sein.“

Kontakt

Helukabel GmbH
71282 Hemmingen
Tel. (0 71 50) 92 09 – 0
info@helukabel.de
www.helukabel.de

Vorschau 3-2026



Gewindestangen, Passfedern und Sicherungsringe von norelem sorgen für das präzise Ausrichten des Rahmens für das System außerhalb des Containers. Bild: norelem

Normteile

Das Bohren von Tunneln soll schneller gehen – zu diesem Zweck wurde ein Wettbewerb ins Leben gerufen, die Not-a-Boring Competition. Gesucht wird dabei eine Bohrmaschine, die schneller ist als eine Schnecke. Daran beteiligte sich 2025 ein Münchener Hochschulteam, zusammen mit einem Industriepartner.

Produktentwicklung

Die Anwendung und Integration digitaler Nutzertests ist eine zentrale Methode zur zeit- und kosteneffizienten Nutzerintegration in den frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses. Der Beitrag liefert einen Überblick über psychologische, kognitive und physiologische Nutzertests und stellt ein fundierte Entscheidungsgrundlage vor.

EU-Vorgaben bei Automatisierungsanlagen umsetzen

Cybersecurity in der Intralogistik

Automatisierte Intralogistikanlagen gelten als Rückgrat moderner Produktions- und Distributionsprozesse. Sie ermöglichen eine präzise, schnelle und effiziente Abwicklung innerbetrieblicher Materialflüsse. Doch mit der zunehmenden Digitalisierung dieser Systeme wächst auch ihre Verwundbarkeit – insbesondere gegenüber Cyberbedrohungen. Die Europäische Union hat darauf reagiert und mit der neuen Maschinenverordnung (EU 2023/1230), dem Cyber Resilience Act (EU 2024/2847) sowie der NIS-2-Richtlinie einen neuen Ordnungsrahmen geschaffen, der auch Betreiber und Inverkehrbringer automatisierter Anlagen in die Pflicht nimmt.

Ab dem Jahr 2027 wird es für Unternehmen in der Intralogistik nicht mehr ausreichen, ihre neugebauten Anlagen lediglich mechanisch instand zu halten. Vielmehr sind dann ganzheitliche Sicherheitsstrategien gefordert, die auch Software, Kommunikationstechnik und vernetzte Infrastrukturen einbeziehen. Für viele Betreiber bedeutet das eine grundlegende Umstellung. Gleichzeitig ergeben sich Chancen für Automatisierungsspezialisten wie Unitechnik: Sie können Verantwortung übernehmen und Kunden dabei unterstützen, die neuen Anforderungen zu erfüllen, indem sie progressive und weit-sichtige Serviceangebote bereitstellen.

Regulatorischer Umbruch: was sich ab 2027 ändert

Die neue EU-Maschinenverordnung löst die bisherige Maschinenrichtlinie ab und definiert erstmals explizit Anforderungen an die Cybersicherheit von Maschinen und Anlagen. Damit wird anerkannt, dass moderne Maschinen häufig softwarebasiert arbeiten, mit Netzwerken verbunden sind und über digitale Schnittstellen verfügen. Herstellende Unternehmen – und in vielen Fällen auch Betreiber – sind

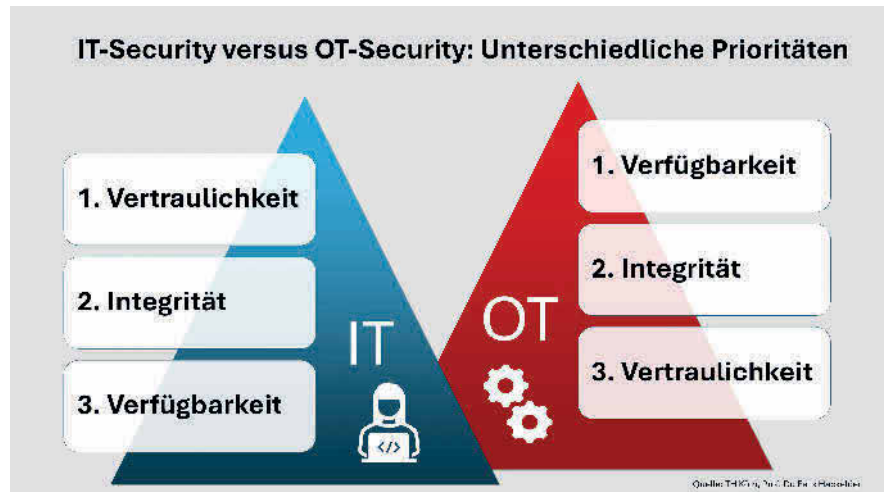


Bild 1 IT-Security schützt klassische Unternehmens-IT, während OT-Security sich auf die Absicherung von industriellen Steuerungs- und Automatisierungssystemen bezieht. Grafik: Unitechnik

künftig verpflichtet, digitale Risiken bereits in der Entwurfsphase zu berücksichtigen. Ebenso verlangt die Verordnung, dass auch bei Software-änderungen, beispielsweise durch die Integration neuer Funktionen oder Softwareupdates, eine erneute Risikobewertung durchgeführt werden muss.

Ergänzt wird dies durch den Cyber Resilience Act, der branchenübergreifend verbindliche Anforderungen an die Sicherheit digitaler Produkte definiert. Für

Anbieter von Maschinen mit digitalem Kern, wie etwa Lagerverwaltungssoftware oder Automatisierungskomponenten, bedeutet dies unter anderem die Pflicht, sichere Grundeinstellungen ab Werk zu gewährleisten, Schwachstellen (beispielsweise durch verwendete Drittanbieterprodukte) offenzulegen und auf empfohlene Sicherheitsupdates hinzuweisen. Darüber hinaus verlangt die NIS-2-Richtlinie von sogenannten „wichtigen Einrichtungen“ ein professionelles Risikomanagement in



Bild 2 Ganzheitliche Sicherheitsstrategien für Intralogistikanlagen erfordern die Einbeziehung von Software, Kommunikationstechnik und vernetzten Infrastrukturen in die Instandhaltung. Foto: Unitechnik

der Informationssicherheit, inklusive Meldepflichten bei Sicherheitsvorfällen.

All dies führt zu einer tiefgreifenden Veränderung in der Betreiberverantwortung. Wer eine automatisierte Intralogistikanlage betreibt, muss nicht nur deren Verfügbarkeit und Leistung sicherstellen, sondern auch ihre digitale Resilienz dauerhaft gewährleisten. Dazu gehören Maßnahmen wie Patchmanagement, Zugriffskontrolle, Protokollierung, sichere Updateverfahren und ein kontinuierliches Monitoring. Diese Anforderungen sind kein einmaliger Akt, sondern verlangen organisatorische, personelle und technische Veränderungen über den gesamten Lebenszyklus einer Anlage hinweg.

Auch wenn der grobe regulatorische Rahmen bereits festgelegt wurde, gibt es für die Gremien der EU-Kommissionen noch viel Detailarbeit zu erledigen. Bis zum Inkrafttreten von Maschinenverordnung und Cyber Resilience Act müssen noch etwa 800 relevante Normen entsprechend angepasst und harmonisiert werden. Das stellt eine große Herausforderung für Hersteller und Inverkehrbringer dar, die heute eine langfristige Lieferverpflichtung eingehen, aber auch für die mittelfristige Planung der Betreiber.

Die Betreiberperspektive: neue Herausforderungen

Für Betreiber von Bestandsanlagen stellt sich insbesondere die Frage, wie sie diesen neuen Vorgaben gerecht werden können,

ohne dabei laufende Prozesse zu gefährden oder hohe Investitionen tätigen zu müssen. Denn viele Anlagen sind über Jahre gewachsen, wurden modular erweitert und basieren auf Software- und Hardwareständen, die nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik entsprechen.

Ein weiteres Problem ist die unklare Trennung zwischen Hersteller- und Betreiberpflichten. Wenn Betreiber eigenständig Softwareänderungen vornehmen oder Komponenten austauschen, können sie unter Umständen rechtlich als „neuer Inverkehrbringer“ gelten und müssen allen damit verbundenen Pflichten der CE-Konformität nachkommen. Die Einbindung von Drittanbietern, etwa im Rahmen von Fernwartung oder Cloud-Anbindungen, erhöht die Komplexität zusätzlich.

An dieser Stelle wird deutlich: Betreiber benötigen Partner, die nicht nur technische Expertise mitbringen, sondern auch in der Lage sind, regulatorische Anforderungen zu übersetzen und in konkrete Maßnahmen zu überführen. Genau an diesem Punkt setzt Unitechnik mit seinen Leistungen an.

Sicherheit als Service – konkrete Beispiele

Unitechnik unterstützt Kunden bereits heute mit mehreren aufeinander abgestimmten Dienstleistungsbausteinen, die exakt auf die kommenden Anforderungen ausgerichtet sind – auch wenn diese erst ab 2027 rechtlich greifen.

Ein zentraler Baustein ist der Softwarewartungsvertrag, der über die reine Fehlerbehebung hinausgeht. Regelmäßige Sicherheitsupdates für Betriebssysteme, Datenbanken und Laufzeitumgebungen werden strukturiert geplant, getestet und in Abstimmung mit dem Kunden ausgerollt. Dabei sorgt ein vierteljährlicher Health Check für Transparenz bezüglich des Systemzustands, dokumentiert den Patchstatus und liefert proaktiv Hinweise auf mögliche Schwachstellen. Die Ergebnisse werden in Form eines Berichts zur Verfügung gestellt und können im Sinne der Nachweispflichten gegenüber Behörden oder Auditoren verwendet werden.

Ein weiteres zukunftsorientiertes Angebot ist der Automation-Check-up. Dabei handelt es sich um eine vorausschauende Wartungsstrategie, die deutlich mehr leistet als eine technische Instandhaltung. In einem mehrstufigen Prozess analysiert

Unitechnik systematisch Störmeldungen, bewertet den Softwarestand und empfiehlt konkrete Maßnahmen zur Optimierung und Risikoabsicherung. Besonders hervorzuheben sind die Integration sicherheitsrelevanter Softwareupdates und die strukturierte Nachverfolgung ihrer Wirksamkeit – ein Vorgehen, das in der neuen Maschinenverordnung ausdrücklich gefordert wird.

Ein Beispiel für sicherheitsrelevante Softwareupdates sind Antriebsregler. Dabei wird regelmäßig geprüft, ob die Firmware des Herstellers auf dem neuesten Stand ist.

Darüber hinaus unterstützt Unitechnik aktiv bei der Migration veralteter Steuerungssysteme. Die Umstellung von Siemens Step7 auf das moderne TIA-Portal ist aus technischer Sicht längst überfällig und gewinnt durch die Sicherheitsanforderungen an Dringlichkeit. Denn ältere Engineering-PCs mit Windows XP oder 7, wie sie häufig für Step7 benötigt werden, bergen ein erhebliches Sicherheitsrisiko. Die TIA-Plattform hingegen erlaubt nicht nur den Einsatz aktueller Hardware, sondern auch die Einbindung von sicheren Kommunikationsprotokollen, Benutzerrechteverwaltung und Diagnosefunktionen. All dies sind essenzielle Elemente moderner Cybersecurity-Konzepte.

Auch im Bereich der Systemarchitektur setzt Unitechnik auf Sicherheit: Der Zugang zu Kundensystemen erfolgt grundsätzlich über virtuelle Maschinen. In dieser virtuellen Umgebung, die exklusiv für einen Kunden genutzt wird, sind die indi-

viduellen Zugangsmechanismen sowie alle benötigten Entwicklungs- und Diagnosewerkzeuge installiert. Im Falle eines Angriffs ist dadurch eine Isolation gewährleistet, die verhindert, dass Schadsoftware von einem Kundensystem auf ein anderes übertragen werden kann. Diese Maßnahme entspricht dem Prinzip der Segmentierung, wie es in vielen Sicherheitsstandards empfohlen wird.

Die neuen EU-Regularien markieren den Beginn eines neuen Zeitalters in der industriellen Automatisierung. Cybersicherheit ist keine nette Zusatzoption mehr, sondern eine gesetzlich verankerte Pflicht. Betreiber und Inverkehrbringer sind gleichermaßen gefordert, über den gesamten Lebenszyklus ihrer Systeme hinweg für Schutz, Transparenz und Reaktionsfähigkeit zu sorgen.

Unterschied zwischen IT-Security und OT-Security

Spezialisten wie Unitechnik nehmen sich dieser Herausforderung an – nicht erst ab 2027, sondern schon heute. Mit einem durchdachten Portfolio von Wartungs- und Migrationsdienstleistungen sowie einem tiefen Verständnis der regulatorischen Anforderungen unterstützen sie die Kunden dabei, ihre Anlagen nicht nur effizient, sondern auch zukunftssicher zu betreiben. So wird Cybersecurity zum festen Bestandteil der Intralogistik – technisch, organisatorisch und rechtlich.

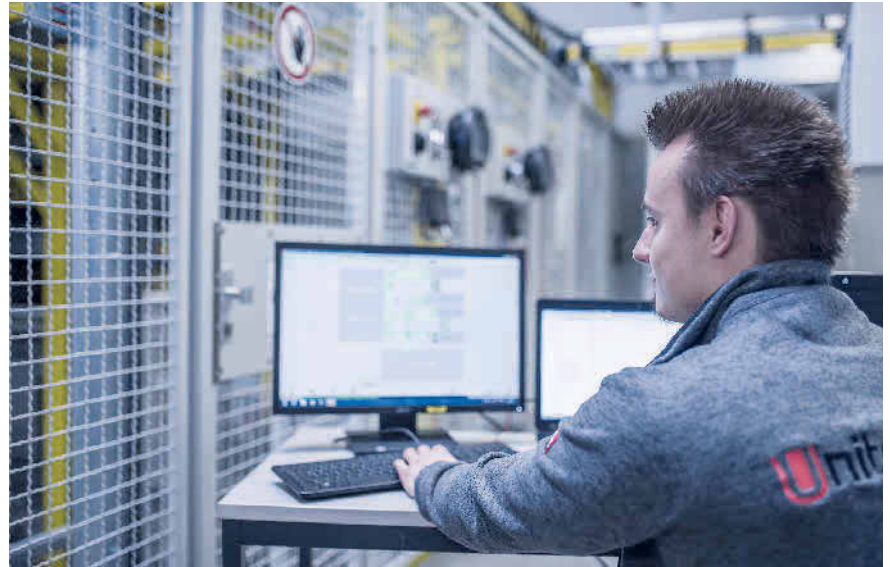


Bild 3 Regelmäßige Sicherheitsupdates für Betriebssysteme, Datenbanken und Laufzeitumgebungen werden strukturiert geplant, getestet und in Abstimmung mit dem Kunden ausgerollt. Foto: Unitechnik

IT-Security (Information Technology Security) schützt klassische Unternehmens-IT wie Server, Netzwerke und Daten vor Cyberangriffen, wobei Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit im Fokus stehen. OT-Security (Operational Technology Security) hingegen bezieht sich auf die Absicherung von industriellen Steuerungs- und Automatisierungssystemen, bei denen vor allem die Verfügbarkeit und die Sicherheit physischer Prozesse (z.B. Materialfluss) im Vordergrund stehen. Während IT-Security stärker softwaregetrieben ist, erfordert OT-Security

ein tiefes Verständnis für Maschinen und Anlagen sowie deren Echtzeitverhalten.

Kontakt

Unitechnik Systems GmbH
Wolfgang Cieplik
51674 Wiehl
Tel. (0 22 61) 9 87 – 208
wolfgang.cieplik@unitechnik.com
www.unitechnik.com

Digitaler Zwilling für Logistiksysteme

Digitale Zwillinge tragen heute entscheidend dazu bei, komplexe Logistiksysteme passgenau, robust und anpassungsfähig zu machen. Unitechnik nutzt nach eigenen Angaben die Technik sowohl als Werkzeug in Projekten, als auch als Service für Kunden. Dieser „doppelte Zwilling“ sorgt dafür, dass Abläufe frühzeitig simuliert werden, Software realitätsnah getestet werden kann und Logistikprozesse im laufenden Betrieb optimiert werden. Wie dieser Ansatz in Planung, Umsetzung und Betrieb wirkt, will der Systemintegrator auf der Logimat in Stuttgart zeigen.

In der Planungsphase wird der digitale Zwilling in verschiedenen Ausprägungen genutzt: VR-Modelle lassen Kunden durch ihr zukünftiges Logistikzentrum laufen, Arbeitsplätze virtuell ausprobieren und frühzeitig Optimierungen vornehmen. Simulationen zeigen, wo Engpässe entstehen könnten, bevor sie real auftreten, und sichern dadurch das Anlagenlayout ab. Im Betrieb wird der digitale Zwilling zu einem betrieblich mitlaufenden Werkzeug für mehr Betriebssicherheit. Änderungen lassen sich erst im Modell unter Live-Bedingungen prüfen und dann real umsetzen. www.unitechnik.com



Die Emulation schafft eine realitätsnahe Betriebsumgebung, in der das Lagerverwaltungssystem UniWare risikofrei getestet werden kann. Bild: Unitechnik



Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen Gebrauch bestimmt. Die kommerzielle Nutzung und die Verbreitung sind nicht gestattet.



Bild 1 Senso-Joints von Sensodrive im KI-Assistenzroboter für Menschen mit Mobilitätseinschränkung. Foto: DLR CC BY-NC-Nd 3.0)

Mehr Lebensqualität durch neue KI-Assistenzroboter

Zertifizierter Komplettantrieb für die Medizintechnik

Ein süddeutsches Unternehmen hat 2025 einen drehmomentgeregelten Komplettantrieb vorgestellt, mit dem sich die Entwicklung leistungsfähiger Assistenzroboter beschleunigen und günstiger umsetzen lässt. Für Patienten könnte das ein wichtiger Schritt in der Robotikentwicklung sein.

Im März 2025 haben die Senso-Joint Gelenkantriebe von Sensodrive ihre Sicherheitszertifizierung vom TÜV erhalten. Die einbaufertigen Komplettantriebe sind damit die weltweit ersten und einzigen drehmomentgeregelten Roboterantriebe mit Sicherheitszertifizierung und dürfen universell in fast jeder Robotiklösung eingesetzt werden. Mit Senso-Joints ist laut Sensodrive jetzt jedes Unternehmen in der Lage, innerhalb weniger Monate marktreife Cobots und Medizinroboter zu

entwickeln, die alle Anforderungen mit dem höchsten Sicherheitsintegritätslevels SIL3/PLe erfüllen.

Antriebe für die Integration in Assistenzroboter

Bislang mussten die Hersteller ihre Antriebe selbst entwickeln und zertifizieren lassen – mit hohen Kosten und großem Zeitaufwand. Wer stattdessen die einbaufertigen Senso-Joint-Antriebe in seine Assistenzroboter integriert, spart sich laut

Sensodrive Geschäftsführer Norbert Sporer diesen gesamten Aufwand und sichert sich einzigartige Wettbewerbsvorteile. „Wir ermöglichen es unseren Kunden, Cobots und Medizinroboter in weniger als 5 Monaten zu entwickeln, die ISO 10218 und ISO/TS 15066 bis zu 4-mal schneller umzusetzen und die Time-to-Market zu halbieren. Dadurch lassen sich Entwicklungs- und Zertifizierungskosten in 7-stelliger Höhe einsparen“, so Sporer.

Dass diese Wettbewerbsvorteile keine leeren Versprechungen sind, hat das Un-

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



Bild 2 Verschiedene Varianten der Senso-Joints von Sensodrive. Foto: Sensodrive

ternehmen in Kooperation mit dem DLR bereits in der Praxis bewiesen.

Der KI-Assistenzroboter des DLR

Mit Hilfe von Senso-Joints konnten die DLR-Forscher sehr schnell aus einem Forschungsprototypen einen produktfähigen, mobilen Assistenzroboter aufbauen, der mobilitätseingeschränkte Personen bei der Ausführung diverser Aufgaben unterstützt. Der DLR-Roboter basiert auf einem Elektrorollstuhl, welcher um einen sensitiven Roboterarm und eine KI-gestützte Steuerung erweitert wurde. Er unterstützt mobilitätseingeschränkte Personen etwa beim Trinken oder durch Anreichen von Gegenständen. Die Nutzenden steuern Rollstuhl und Roboterarm dabei per Joystick, müssen aber lediglich mit einfachsten Joystick-Kommandos eine ungefähre Richtung vorgeben – die KI erkennt die Intention und passt alle Bewegungen des Systems automatisch an.

Überwacht wird dieser teilautonome Betrieb durch ein modernes Bildverarbeitungssystem. Für den Roboterarm ist auch ein (überwacher) autonomer Betrieb möglich. Aufgaben wie das Greifen von Objekten werden dann auf Sprachbefehl automatisch ausgeführt, wodurch sich das System auch von außerhalb des Rollstuhls steuern lässt.

Weil der Roboterarm im direkten Umfeld des Nutzenden arbeitet und bei vielen Aufgaben sogar mit diesem interagiert, war die zuverlässige Einhaltung höchster Sicherheitslevels eine unabdingbare Voraussetzung. Auch die Anforderungen an die Roboterkinematik und Regelbarkeit waren sehr hoch, weshalb ein Roboterarm auf Basis von Senso-Joints design wurde. Diese garantieren eine sichere und feinfühligere Bewegungsausführung bei der In-



Bild 3 DLR Roboter auf Basis eines Elektrorollstuhls, erweitert um einen sensitiven Roboterarm und eine KI-gestützte Steuerung. Foto: DLR (CC BY-NC-Nd 3.0)

teraktion von Mensch und Roboter. Dank dieser hochmodernen Sensorik und KI-gestützter Steuerung kann die Lebensqualität mobilitätseingeschränkter Menschen enorm verbessert werden.

„Auch bei diesem Projekt war die kurze Entwicklungszeit des Roboterarmes bemerkenswert“, so Sporer. „Allein der Zertifizierungsprozess für eine selbst entwickelte Antriebslösung hätte sonst vermutlich mehrere Jahre beansprucht.“

Alle relevanten Sicherheitsnormen erfüllt

Bei Medizinrobotern ist nicht nur höchste Präzision, sondern vor allem auch maximale Sicherheit unerlässlich. Deshalb erfüllen die Senso-Joint Komplettantriebe aufgrund umfangreicher Sicherheitsfunktionen alle Anforderungen des Sicherheitsintegritätslevels SIL3/PLe. Die ein-

baufertigen Komplettantriebe sind bereits voll sicherheitszertifiziert nach IEC 61508, IEC 62061, ISO 13849 sowie IEC 61800-5-2 und ermöglichen bei der Umsetzung von ISO 10218, ISO/TS 15066, EN ISO 12100 und EN 60204-1 signifikante Zeit- und Kosten-Einsparungen gegenüber der Entwicklung eigener Lösungen. „Die Hersteller von Medizin- und Assistenzrobotern können sich ab sofort voll auf ihre Kernkompetenzen konzentrieren“, so Norbert Sporer. „Wir liefern die optimale applikationsspezifische Kinematik und Antriebstechnik.“

Kontakt

Sensodrive GmbH
82234 Weißling
Tel. (0 81 53) 90 90 10
info@sensodrive.de
www.sensodrive.de

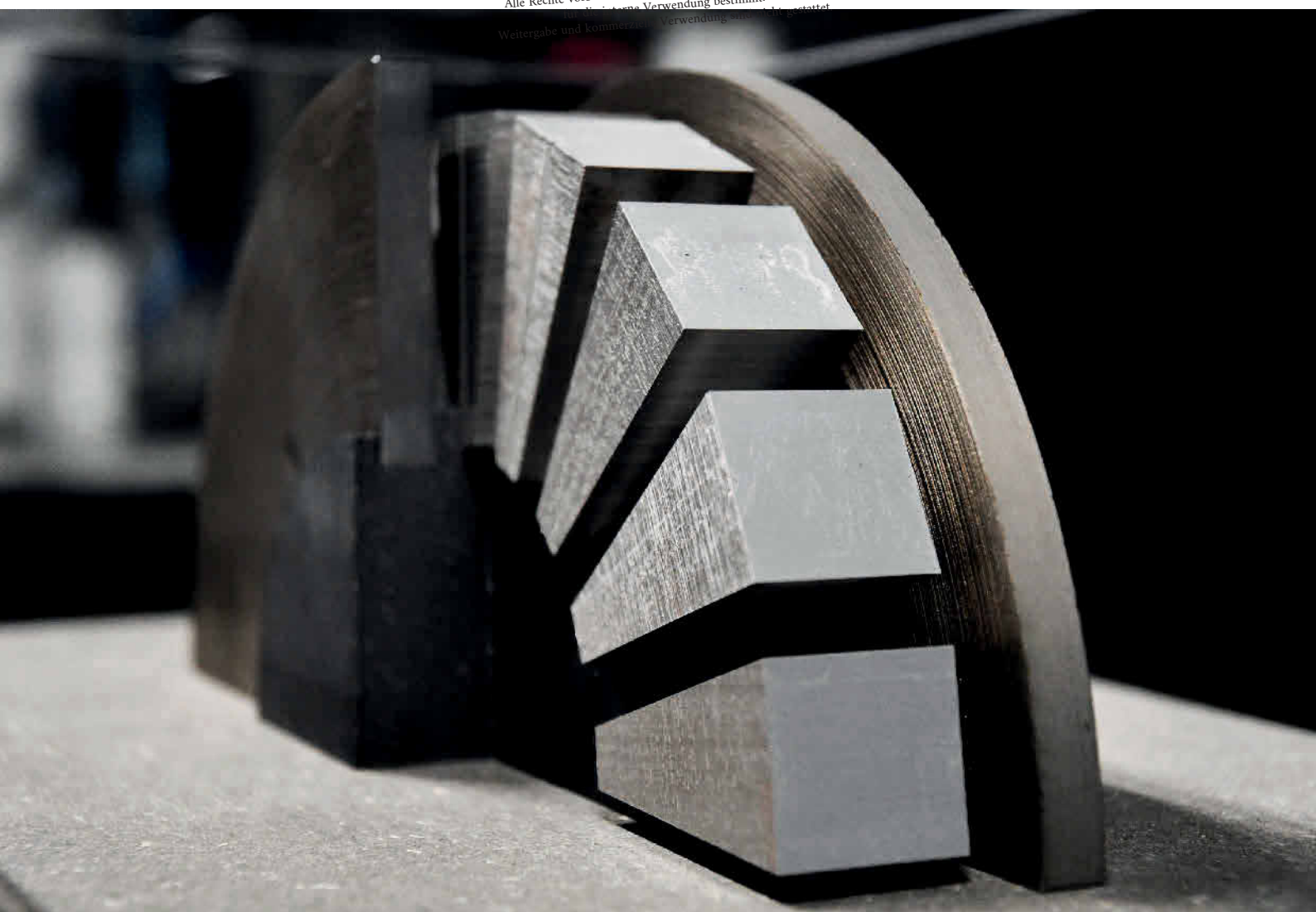


Bild 1 Elektroblechkomponenten Rotor und Statorsegmente im Axialflussmotor. Foto: SWD AG

Axialfluss-Komponenten für die E-Mobilität:

Komplexe Antriebstechnik auf dem Weg zur Serienfertigung

Axialflussmotoren zählen zu den besonders leistungsdichten und effizienten Konzepten jenseits der klassischen Radialflussantriebe. Gerade für die Elektromobilität bieten sie enormes Potenzial: kompaktere Baugrößen, erhöhtes Drehmoment und eine optimierte Energieausnutzung schaffen deutliche Vorteile bei Fahrzeugantrieben. Gleichzeitig zeigt sich in der industriellen Umsetzung noch ein hoher Anspruch an Fertigung und Technik. Aufwendige Geometrien, strenge Genauigkeitsvorgaben und neuartige Werkstoffe erschweren bisher eine wirtschaftliche Serienfertigung. Moderne modulare Maschinenarchitekturen und spezialisierte Produktionsverfahren eröffnen nun jedoch den Weg in die Großserienproduktion.

TEXT: Patrick Schulze

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

Axialflussmotoren bieten eine bemerkenswerte Kombination aus hoher Leistungsdichte, kompaktem Bauraum und hoher Effizienz. „Für die Elektromobilität bedeutet das, dass sich mehr Leistung auf gleichem Volumen realisieren lässt und die verfügbare Energie besser genutzt wird“, erklärt Thomas Stäuble, CEO der SWD AG, einem Schweizer Spezialisten für Sator- und Rotortechnik. Zudem eröffnet die Bauform neue Freiheitsgrade bei der Integration in unterschiedliche Fahrzeugarchitekturen – ein Aspekt, der angesichts steigender Reichweitenanforderungen und Kostendruck in der Automobilindustrie an Bedeutung gewinnt. Das hohe Drehmoment bei vergleichsweise geringer Masse macht Axialflussmotoren dabei besonders attraktiv.

Mit diesen technischen Vorteilen steigen jedoch auch die Anforderungen an die Produktion. Die spezielle Geometrie von Elektroblechpaketen verlangt nach angepassten und teilweise völlig neuen Fertigungsschritten. „Der Axialflussmotor ist seit vielen Jahren bekannt, aber erst jetzt beginnt die eigentliche Phase der Industrialisierung und Großserienfertigung“, erläutert Stäuble.

Weil etablierte Standards und ausgereifte Prozessketten fehlen, ist der Entwicklungsaufwand entsprechend hoch. „Während Radialflussmaschinen auf über Jahrzehnte optimierten Produktionsverfahren basieren, müssen Axialflusskonzepte in weiten Teilen neu gedacht werden“, so Stäuble weiter. Konventionelle Großpressen erreichen dabei schnell ihre technischen und wirtschaftlichen Grenzen. Gefragt sind daher Fertigungstechnologien, die die besonderen strukturellen Anforderungen erfüllen und gleichzeitig einen stabilen Übergang von der Einzelstück- zur Serienproduktion ermöglichen.

Herausforderungen auf dem Weg in die Serie

Eine der zentralen Hürden besteht darin, die Prototypenprozesse in robuste industrielle Standards zu überführen. Während in frühen Entwicklungsphasen, wie etwa im Labor oder im Prototypenbau, flexible Einzellösungen genügen, verlangen OEMs für die Serie reproduzierbare Prozesse und eine sichere Skalierbarkeit. Sowohl die Werkzeugauslegung als auch Material-



Bild 2 Statorsegment für einen Axialflussmotor. Foto: SWD AG



Bild 3 Gewickeltes Statorpaket für einen Axialflussmotor. Foto: SWD AG

handling und Qualitätskontrolle müssen dabei auf die besonderen geometrischen Eigenschaften abgestimmt werden. „OEMs erwarten eine konstant hohe Qualität über große Produktionsvolumina hinweg“, sagt Stäuble. Ebenso spielen kurze Taktzeiten sowie ein reibungsloser Übergang von der Kleinserie in die Großserie eine entscheidende Rolle.

Modulare Sondermaschinen als Schlüssel zur Serie

Vor allem die Skalierung der Produktion erweist sich für viele Unternehmen als kritische Hürde. Konventionelle Anlagen sind meist für klar definierte Stückzahlen und Bauteilgeometrien entwickelt und können nur begrenzt angepasst werden. Die Einführung neuartiger Antriebskonzepte wie der Axialflussmotoren wird damit schnell zu einer strategischen Investitionsentscheidung.

Ohne modulare und anpassbare Fertigungssysteme lassen sich diese Anforder-

ungen kaum erfüllen und der Serieneinstieg bleibt für viele Unternehmen eine Herausforderung.

Genau dort setzt die SWD AG mit ihren modularen Maschinenkonzepten an. Denn die SWD AG entwickelt Produktionslösungen, die spezifisch auf Axialflusskomponenten zugeschnitten sind. „Ein Baukastenprinzip ermöglicht es, Fertigungslinien schrittweise aufzubauen und bei Bedarf zu erweitern“, so Stäuble. Dadurch wird die Skalierung sehr einfach; jede Ausbaustufe basiert auf denselben Werkzeugen und ermöglicht serienfallende Elektroblechpakete. Dadurch sinken die Investitionshürden erheblich, da Unternehmen von Beginn an nach Serienprozessen produzieren und die Produktion später flexibel skalieren können. Für OEMs bedeutet dies, dass sie den Markteintritt mit neuen Techniken risikofrei gestalten und gleichzeitig ihre Produktionskapazitäten dynamisch anpassen können.

Zum Einsatz kommen dabei spezialisierte Prozessmodule: neuartige Stanz-



und Werkzeugkonzepte, präzise Stackbildungsmodul, hochfeste Verklebungs- und Verbindungstechniken sowie integrierte Prüf- und Messsysteme. „Die Kombination dieser Module erlaubt es, Fertigungslinien individuell auf die jeweiligen Anforderungen auszurichten und gleichzeitig ein Höchstmaß an Prozessstabilität zu erreichen“, ergänzt Stäuble. So entsteht ein Produktionssystem, das auch in Zukunft flexibel anpassbar bleibt.

Qualitätssicherung und Reproduzierbarkeit

Für OEMs im Automotive-Umfeld ist Qualität das entscheidende Kriterium. Ein fehlerhaftes Bauteil bedeutet nicht nur immense Kosten, sondern auch Imageverluste. SWD setzt daher auf umfassende Prüf- und Messtechnik bereits in den Prozessmodulen. „Jede Fertigungsstufe wird kontinuierlich überwacht, Abweichungen werden sofort erkannt und korrigiert“, erläutert Stäuble. Automatisierte Sensorik, taktile und elektromagnetische Messungen sowie datenbasierte Auswertungen sichern die geforderten Toleranzen und Grenzwerte ab. Diese Echtzeitkontrollen gewährleisten, dass auch bei hohen Stückzahlen die Qualität konstant bleibt.

Darüber hinaus eröffnet die systematische Datenerfassung neue Möglichkeiten: Produktionsdaten können nicht nur rückverfolgt, sondern auch für Prozessoptimierungen genutzt werden. „Mit datenbasierten Auswertungen lassen sich Muster und Trends erkennen, die für kontinuierliche Verbesserungen genutzt werden können“, sagt Stäuble. Damit wird nicht nur die Qualitätssicherung gewährleistet, sondern auch die Basis für vorausschauende Wartung und langfristige Optimierungen geschaffen.

Skalierbarkeit als zentrales Kriterium

Ein dynamischer Markt wie die Elektromobilität verlangt außerdem nach flexiblen Produktionskapazitäten. „Unser modularer Ansatz ermöglicht es, Fertigungslinien zunächst in kleinerem Umfang aufzubauen und sie dann Schritt für Schritt zu erweitern, oder wir nutzen eine unserer eigenen Fertigungslinien“, sagt Stäuble. So lassen sich Investitionen eng an die Marktentwicklung koppeln. Dies gewährleistet Zukunftssicherheit und



Bild 4 Gewickeltes Rotorpaket für einen Axialflussmotor. Foto: SWD AG

Anpassungsfähigkeit. Besonders für OEMs, die in einem hochkompetitiven Markt agieren, ist diese Flexibilität entscheidend. Sie erlaubt es, neue Fahrzeugkonzepte schnell auf den Markt zu bringen, ohne das Risiko hoher Fehlinvestitionen.

Neue Verfahren und Werkstoffe integrieren

Die Möglichkeit zur Erweiterung umfasst nicht nur die Anzahl der Produktionslinien, sondern auch deren technische Ausstattung. Neue Klebeverfahren, alternative Werkstoffe oder zusätzliche Prüftechniken lassen sich integrieren. Damit entsteht ein zukunftssicheres Produktionssystem, das mit den Anforderungen wächst. In der Zukunft wird dann der Ort der Fertigung auch flexibel definiert werden können. Die kompakten, automatisierten Produktionslinien lassen sich direkt dort installieren, wo die Bauteile benötigt werden. Dies muss nicht mehr zwingend beim Lieferanten sein, der OEM kann selber zum Hersteller mit diesen Maschinen werden und seine Wertschöpfungstiefe erhöhen.

Bereits heute hat SWD Projekte mit namhaften Automobilherstellern umgesetzt. Dabei konnten Axialfluss-Komponenten erfolgreich in Serienprozesse überführt werden. Modulare Fertigungslinien für Elektroblechpakete erfüllten nicht nur die Qualitäts- und Reproduzierbarkeitsanforderungen, sondern auch die notwendige Flexibilität. „Die Projekte zeigen, dass die industrielle Serienfertigung von Axialflussmotoren mit den richtigen Technologien und Prozessen heute Realität ist“, so Stäuble.

Ausblick: Zukunftstrends in der Axialflussfertigung

Die weitere Entwicklung wird stark von Automatisierung, Digitalisierung und Nachhaltigkeit geprägt sein. KI-gestützte Qualitätssicherung, vorausschauende Wartung und datenbasierte Prozessoptimierung werden an Bedeutung gewinnen. Gleichzeitig werden ressourcenschonende Fertigungen, energieeffiziente Verfahren und Kreislaufwirtschaft immer wichtiger. „Wir entwickeln unsere modulare Maschinenarchitektur kontinuierlich weiter, um diese Trends optimal abzubilden und die Serienfertigung noch effizienter und nachhaltiger zu gestalten“, erklärt Stäuble.

Darüber hinaus eröffnen sich neue Anwendungsfelder: Axialflussmotoren sind nicht nur für Pkw interessant, sondern auch für andere Fahrzeugkonzepte oder die Luftfahrt. Jede dieser Anwendungen stellt spezifische Anforderungen an Leistung, Gewicht und Effizienz; diesen Anforderungen gemein ist jedoch, dass sie sich mit modularen Produktionssystemen besonders gut erfüllen lassen. In Verbindung mit globalen Nachhaltigkeitszielen wird dies den Innovationsdruck in den kommenden Jahren noch weiter erhöhen.

Fazit: Axialflussmotoren bieten enorme Potenziale für die E-Mobilität – doch ihre industrielle Umsetzung gestaltet sich komplex. Mit modularen Maschinenkonzepten und spezialisierten Prozessmodulen schafft etwa SWD den Durchbruch zur Serienfertigung. OEMs profitieren von Flexibilität, Skalierbarkeit, hoher Qualität und nachhaltigen Prozessen. Die Projekte aus der Praxis zeigen, dass die Technologie längst keine Zukunftsmusik mehr ist, sondern bereits heute den industriellen Alltag erreicht hat. Damit werden Axialfluss-Komponenten zu einer realistischen und wettbewerbsfähigen Option für die Elektromobilität der Zukunft – ein Schritt, der nicht nur die Industrie, sondern auch die ökologische Transformation entscheidend voranbringen kann.

Patrick Schulze
Journalist für Wordfinder

Kontakt

SWD AG Stator- und Rotortechnik
CH-5026 Densbüren
Tel. (00 41 62) 8 67 92 18
info@swdag.ch

Turbinenantrieb

Antrieb für Windenergieanlagen

Ein Antriebssystem für Windenergieanlagen hat eine Drehmomentdichte von 300 Nm/kg. Aufgrund dieser Effizienzsteigerung können den Angaben zufolge Stromgestehungskosten gesenkt werden: Windturbinen können kompakter gebaut oder bei gleicher Größe leistungsfähiger werden.



Bild 1 Besonderes Kennzeichen des Antriebssystems Revo ist die Drehmomentdichte von 300 Nm/kg. Foto: Flender

Der globale Markt für Windenergieanlagen wächst kontinuierlich – mit steigenden Anforderungen an Leistung und Dimensionen der Turbinen. Hersteller arbeiten intensiv daran, die Effizienz ihrer Systeme zu erhöhen. Einen bedeutenden Fortschritt markiert das neue Antriebskonzept Revo (Eigenschreibweise: REVO), das der deutsche Antriebsspezialist Flender unter seiner Windmarke Winergy vorgestellt hat. Erstmals erreicht den Angaben zufolge ein Turbinenantrieb die Drehmomentdichte von 300 Nm/kg – ein technischer Meilenstein.

Revo ist ein validiertes Designkonzept für neue Turbinengenerationen und ermöglicht aufgrund der Drehmomentdichte von 300 Nm/kg deutlich kompaktere Antriebssysteme: Bei gleicher Leistung könne der Außendurchmesser um bis zu 25 % reduziert werden. Andreas Klein, Vice President Drive Systems und Gear Engineering für Flenders Wind-Geschäft, erläutert: „Die Drehmomentdichte – vereinfacht auch Leistungsdichte genannt – beschreibt, wie viel Drehmoment ein Antrieb pro Kilogramm Material übertragen kann – ein zentraler Kennwert für die Investitionskosten eines Windparks.“

Zentrale Herausforderungen im Blick

Das kompakte Getriebedesign adressiert mehrere zentrale Herausforderungen bei der Entwicklung neuer Turbinen und bietet weitreichende Vorteile: Es senkt Transportkosten und ermöglicht die Straßentransportfähigkeit, auch für die aktuellen und zukünftigen Leistungsklassen jenseits der 8 MW. Die kompakte Bauweise erschließt neue Standorte, die bisher logistisch nicht erreichbar waren, und beschleunigt den Ausbau der Windenergie.

Zudem reduziert der geringere Materialeinsatz die Gondelgröße und die Masse im Turmkopf, führt Flender aus. Das spart Kosten bei Turm und Fundament. Im Vergleich zu Getrieben derselben Leistungsklasse aus dem Jahr 2010 ermöglicht Revo eine CO₂-Reduktion bis zu 70 %. Geräuscharme Gleitlager der zweiten Generation sorgen für die Einhaltung europäischer Emissionsrichtlinien und erhöhen die Betriebssicherheit.

Revo ist das Ergebnis der engen Zusammenarbeit innerhalb des globalen Engineering-Netzwerks von Flender. Durch die Weiterentwicklung bestehender Techniken und den Einsatz neuer Verzahnungswerkstoffe entstand ein einzigartiger Prototyp, der Wettbewerbsvorteile geschaffen hat. Herzstück des Konzepts sei die Kombination innovativer Techniken, die gemeinsam die außergewöhnliche Drehmomentdichte ermöglichen – darunter die optimierte Kombination aus Planetenstufen und Planetenrädern je Stufe, platzsparende und geräuschreduzierende Gleitlager sowie induktionsgehärtete Materialien für maximale Zuverlässigkeit. Umfangreiche Tests bestätigen die Leistungsfähigkeit des Konzepts, so Flender weiter. Nach erfolgreicher Validierung ist das Revo-Konzept derzeit im Winergy-Werk in Voerde zu sehen.

Kontakt

Flender International GmbH
46395 Bocholt
Tel. (0 28 71) 92 – 0
www.flender.com

Antriebssysteme individuell gestalten

Frequenzumrichter für die dezentrale Antriebstechnik

Ein neuer Frequenzumrichter richtet sich speziell an Anwender, die hohe Flexibilität bei der Gestaltung ihrer Antriebssysteme suchen. Die neue Variante einer bestehenden Baureihe ist ein motor- oder wandmontierter 3-Phasen und 1-Phasen-Frequenzumrichter in zwei Baugrößen.

Er ermöglicht eine hersteller-, technik- und effizienzklassenunabhängige Steuerung verschiedenster Motortypen. Außer Asynchron- und Permanentmagnetsynchronmotoren können insbesondere auch Motoren mit Reluktanztechnik leistungsfähig geregelt werden.

Mit dem Ansatz „Build your own system“ möchte der Anbieter Kostal jeden Konstrukteur, Systemintegrator

oder Maschinenbauer ermutigen, nicht auf vorgefertigte Antriebssysteme zurückzugreifen, sondern sich ein eigenes System aus individuell konfigurierten Komponenten zu gestalten. Anwender haben davon den Nutzen, dass ihnen die gesamte Marktbandbreite an Motoren zur Verfügung steht, führt das Unternehmen aus. Sie können sich aus dem Angebot den für sie passenden Motor auswählen, je nachdem welche Prioritäten dabei im Vordergrund stehen: Kostenfaktor, Motortechnik oder IE-Klasse. Der Anwender hat die Auswahl und erreicht dadurch mit Sicherheit ein Kostensenkungspotenzial und eine höhere Wertschöpfung. Ist der Motor einmal ausgewählt, kann man ihn mit einem Frequenzumrichter aus dem Kostal Portfolio zu einem System verbinden. Das motormontierte Konzept garantiert eine mechanische Adaption auf nahezu jeden Motor am Markt – das bedeutet Flexibilität für den Anwender. Die regelungstechnische Verbindung erfolgt automatisch durch die Selfcom-Funktion im Frequenzumrichter: innerhalb kürzester Zeit vermisst der Frequenzumrichter den Motor und parametriert ihn optimal. Dieser Plug-&-Play-Ansatz vereinfacht die Zusammenstellung eines eigenen Antriebssystems deutlich, heißt es weiter.



Bild 1 Der Frequenzumrichter Inveor MC1 richtet sich an Konstrukteure in Maschinenbau und Intralogistik. Bild: Kostal

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

Der MC1 ist die neueste Variante in der Familie der Inveor-Frequenzumrichter. So ist der Inveor MC1 mit dem patentierten Kostal Regelungsverfahren ausgestattet, das eine hochperformante Regelung aller Motorarten – unabhängig von Technik, Hersteller oder IE-Klasse sowie Überlasten bis zu 250% ermöglicht. Die Regelung erfolgt ohne einen Rotorlagegeber, was in der Praxis die Kosten reduziert und das System robuster macht. Die Regelung ist so ausgefeilt, wie Kostal ausführt, dass selbst eine Positionierung ohne Rotorlagegeber möglich ist. Aufgrund der direkten Verbindung mit dem Motor kann der Frequenzumrichter veränderte Schwingungen des Antriebssystems erfassen. Mit der integrierten Funktion des Vibration Monitorings können so leicht die Abweichungen vom Standard und ein fortschreitender Verschleiß oder drohender Ausfall rechtzeitig erkannt werden. Dadurch bietet sich ein einfacher Einstieg in die Predictive Maintenance an.

Den neuen Frequenzumrichter gibt in unterschiedlichen Variantenausprägungen, die sich an den Anforderungen der verschiedenen Applikationen orientieren. Auf diese Art wird sichergestellt, dass der Kunde einen Frequenzumrichter erhält, der nur die Funktionen enthält, die tatsächlich auch benötigt werden. Unter anderem gibt es Varianten für Basisanwendungen, Pumpen/Lüfter und Maschinenbau. Die Variante MC104 ist insbesondere auf die Anforderungen in der Intralogistik zugeschnitten. So verfügt das Gerät über eine Haltebremsenansteuerung, einen internen Bremswiderstand, unterschiedliche Ethernet Feldbusse und funktionale Sicherheitsfunktionen. Das Gerät ist so konstruiert, dass sowohl Installations- als auch Austauschzeiten in der Praxis minimiert werden: Anschlussmöglichkeiten von drei Seiten, komplett steckbare Anschlüsse sowie die automatisierte Inbetriebnahme führen zu einem extrem einfachen Handling und garantieren eine höchste Anlagenverfügbarkeit. Ein Micro SD-Kartenslot ermöglicht bei einem Ausfall des Geräts die einfache Übernahme des Parametersatzes via Micro-SD Karte. Darüber hinaus erreicht der Inveor MC1 mit seinem Aluminium-Gehäuse die hohe Schutzart IP65.

Wie Kostal ausführt, ermöglicht es das modulare Konzept des Inveor MC1, dass



Bild 2 Die Variante MC104 ist insbesondere auf die Anforderungen in der Intralogistik zugeschnitten. Foto: Kostal

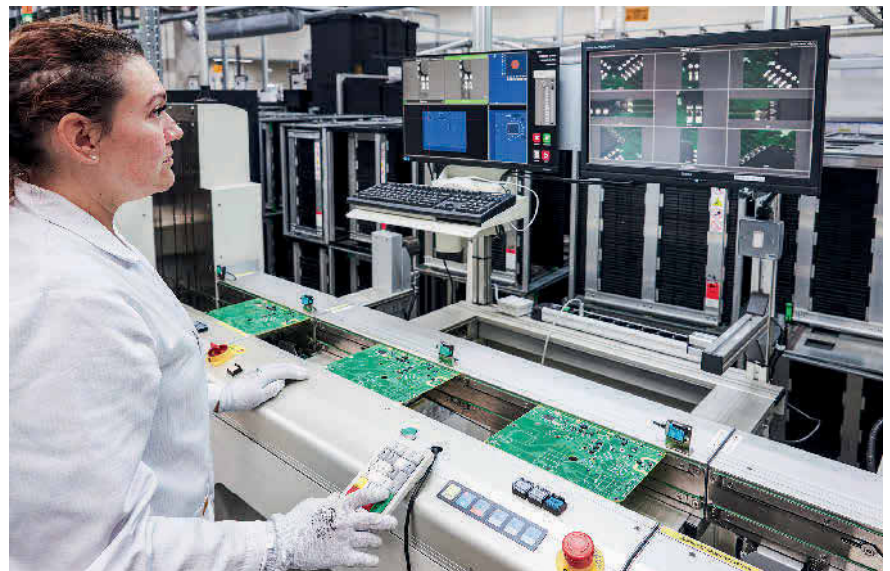


Bild 3 Der Frequenzumrichter wird im Kostal-Werk in Hagen gefertigt. Foto: Kostal

bestimmte Optionen wie Funktionale Sicherheit, Auswahl des Feldbus und Erweiterung der Ein- und Ausgänge über M12-Stecker sowie Relais nachträglich, erst beim Endkunden installiert oder konfiguriert werden können. Das sorgt für eine enorme Reduzierung der Variantenvielfalt und damit eine deutlich geringere Lagerhaltung.

Smarte Bedienkonzepte wie ein optionaler Bluetooth-Stick ermöglicht die Steuerung und Parametrierung per App – für maximale Übersicht und einfache Handhabung, auch bei wechselnden Anforderungen.

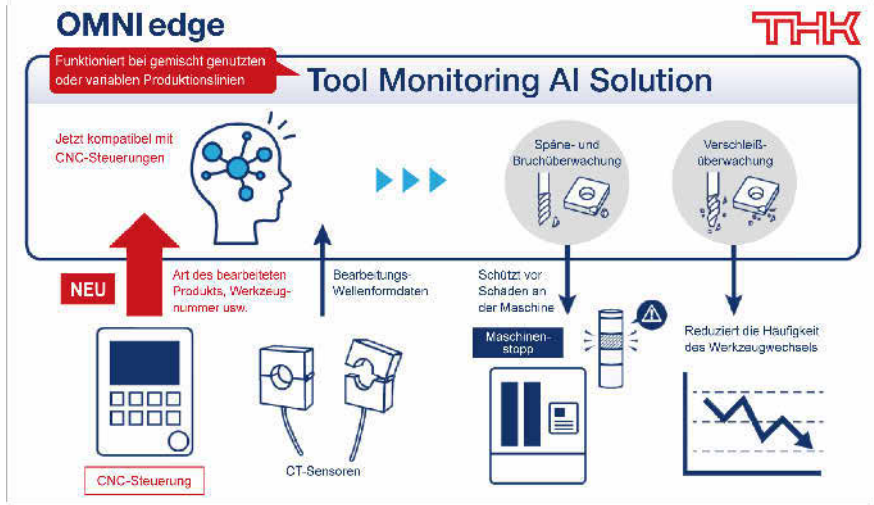
Der Inveor MC1 ist mit einer breiten Auswahl an Feldbusschnittstellen (unter anderem CAN-Open, Profinet, EtherCAT) sowie MQTT für die Industrie 4.0 Integration ausgestattet. Diagnosen und Wartungen sind dadurch zukunftssicher und effizient realisierbar.

Kontakt

Kostal Industrie Elektrik GmbH & Co. KG
58099 Hagen
Tel. (0 23 31) 80 40 – 100
www.kostal-drives-technology.com

KI-basierte Werkzeugüberwachung kompatibel mit Fanuc CNC

Zur Erweiterung der Funktionen der im Jahr 2022 eingeführten Tool Monitoring AI Solution, einer KI-basierten Werkzeugüberwachung, bietet die THK jetzt auch die Anbindung an CNC der Fanuc Corporation an. Diese Konnektivität ermöglicht laut THK eine schnellere Installation und Nutzung der Tool Monitoring AI Solution, verhindert fortlaufendes Arbeiten mit schadhaftem Werkzeug und optimiert den Zeitpunkt des Werkzeugwechsels, indem sie Werkzeugschäden und Ausbrüche frühzeitig erkennt. Wie THK ausführt, werden aus den Eingangssignalen der CNC sowie den Messdaten eines am Antriebsmotor installierten Stromsensors Zyklusdaten extrahiert. Auf Basis dieser Daten wird ein KI-Modell generiert, das Werkzeugschäden wie Ausbrüche oder Brüche in Echtzeit detektiert. Dadurch kann die kontinuierliche Erzeugung fehlerhafter Werkstücke frühzeitig verhindert werden, so THK. Die Stromsignale während des Werkzeug-Eingriffs in das Werkstück werden analysiert, um den Grad des Werkzeugverschleißes zu bestimmen und möglichen Werkzeugbruch zu erkennen. Durch die Ermittlung der optimalen Werkzeugstandzeit lässt sich der Austauschzeitpunkt präzise bestimmen, um hohe Kosten durch ungeplante Stillstandzeiten zu minimieren. Diese Lösung geht nun mit der neuen Anbindung an Fanuc-CNC einen Schritt



KI-basierte Werkzeugüberwachung mit Fanuc-Steuerungen in Echtzeit. Grafik: THK

weiter. Bisher war es in einigen Fällen erforderlich, den Kontaktplan (Ladder diagram) anzupassen oder den zu bearbeitenden Produkttyp manuell festzulegen, um digitale Signale von CNC-Geräten einzulesen. Mit der neuen direkten CNC-Konnektivität können jedoch Bearbeitungsprogramme und Werkzeugnummern in Echtzeit für eine reibungslosere Einrichtung direkt von den Steuerungen abgerufen werden. Selbst bei gemischt genutzten oder variablen Produktionslinien, in denen sich die gefertigten Produkte häufig ändern, kann das System nun automatisch auf das passende

Betriebsmodell des aktuellen Produkts umschalten und dadurch Abweichungen präziser erkennen.

Die Tool Monitoring AI Solution werde als vollständig integrierte Lösung geliefert, bestehend aus Hardwarekomponenten, der Kommunikationsinfrastruktur sowie der Anwendungssoftware. Dadurch entfallt die Notwendigkeit einer individuellen Systemkonfiguration, und der Anwender könne die Maschine oder Anlage ohne aufwendige Integrationsarbeiten unmittelbar in Betrieb nehmen.

www.thk.com

Neue Sicherheitslösungen für die Smart Factory

Mit IO-Link Safety etabliert sich ein neuer Standard für funktionale Sicherheit in der industriellen Automatisierung. Wie Schmersal ausführt, überträgt die Technik die Prinzipien der IO-Link-Kommunikation auf sicherheitsgerichtete Komponenten und ermöglicht eine einheitliche, bidirektionale Kommunikation bis in die Feldebene. Schmersal stellt mit der Sicherheitszuhaltung AZM42 und dem Sicherheitssensor RSS362 die ersten IO-Link-Safety-Produkte vor. Die Sicherheitszuhaltung AZM42 bietet außer kompaktem Design und hoher Sicherheitsleistung nun auch umfangreiche Diagnosedaten in Echtzeit, etwa zur Versorgungsspannung, Temperatur und RFID-Signalqualität. Der berührungslose Sicherheitssensor RSS362 ergänzt diese Funktionen um intelligente Diagnosemöglichkeiten und unterstützt ebenfalls die sichere bidirektionale Kommunikation. Beide Geräte ermöglichen eine einfache Integration über dreiadrig Standardleitungen mit M12-Steckern und reduzieren so Installationsaufwand und Kosten. Aufgrund der Data-Storage-Funktion und Offline-Konfiguration lassen sich Wartung und Serienfertigung effizienter gestalten. www.schmersal.com



Die ersten IO-Link-Safety-Produkte von Schmersal sind gegen Ende des ersten Halbjahres 2026 lieferbar: der Sicherheitssensor RSS362 (re.) und die Sicherheitszuhaltung AZM42 (li.). Bild: Schmersal

Updates für HyperWorks 2026

Altair hat die neuesten Updates für die Software HyperWorks 2026 bekannt gegeben. Mit Fortschritten in den Bereichen KI, High-Performance Computing (HPC) und Multiphysik-Integration bietet HyperWorks 2026 Ingenieurteams umfassende computergestützte Konstruktions- und Simulationsverfahren (CAE). HyperWorks 2026 bietet den Angaben zufolge sechs wichtige Neuerungen

- KI-gestütztes Design und Simulation

Geometrisches Deep Learning, generative Algorithmen und GPU-beschleunigtes Reduced Order Modeling (ROM) ermöglichen laut Altair Vorhersagen nahezu in Echtzeit und eine schnellere Validierung. Physikbasierte KI-Modelle können in sicheren, browserbasierten Umgebungen eingesetzt werden und liefern Ergebnisse, die bis zu 1.000-mal schneller sind als herkömmliche Solver-Simulationen.

- Unternehmensweites Pre-Processing und Modellzusammenstellung

Ingenieure können nun, so Altair große, komplexe Baugruppen schnell und durchgängig simulieren und so die Entwicklungs- und Validierungszyklen verkürzen. Verbesserte Navigation, Batch-Meshing und das Management von Konnektoren optimieren das Pre-Processing, während die Datenverwaltung für Konsistenz zwischen den Teams sorgt.

- Integrierte multiphysikalische Simulation

Aufgrund einheitlicher Solver und Domänenkopplung können Anwender komplexe Wechselwirkungen – wie Thermo-Fluid- oder elektromagnetisch-strukturelle Systeme – mit höherer Genauigkeit analysieren. Neue Workflows unterstützen die Optimierung von Elektromotoren, Untersuchungen zur Batteriesicherheit sowie

Hochtemperaturanalysen, während Co-Simulationsstandards die digitale Kontinuität verbessern. Elektromagnetische Simulationen laufen bis zu 40 % schneller und Modellierungen von Wellenausbreitung bis zu 20-mal schneller.

- Automatisierung, Zusammenarbeit und Konnektivität

Erweiterte Python- und API-Unterstützung, intuitive Workflow-Tools ohne Programmieraufwand und Cloud-Integration fördern die digitale Durchgängigkeit. Verbesserte Visualisierungs- und Plotting-Tools vereinfachen die Interpretation und Weitergabe von Ergebnissen, während die nahtlose Interoperabilität mit Software von Drittanbietern die Genauigkeit digitaler Zwillinge erhöht.

- Realistisches Partikel-, Fluid- und Materialverhalten

Neue Modellierungsansätze umfassen Massenströmungen, Aufprallverhalten und Hochtemperatureffekte mit größerem Realismus. Python-basierte Automatisierung beschleunigt Workflows mit der Diskreten-Elemente-Methode (DEM) und gekoppelte Solver ermöglichen fortschrittliche Untersuchungen zur Batteriesicherheit und Materialreaktion.

- Intuitive Design- und Bewegungsanalyse

Ein einheitlicher Arbeitsbereich verändert die Art und Weise, wie Ingenieure Bewegungen untersuchen und Geometrien verfeinern. Echtzeit-Aktualisierungen in mehreren Fenstern reduzieren die Einrichtungszeit, während eine flexible implizite Modellierung und direkte Oberflächenbearbeitung die Erstellung komplexer Geometrien und somit mehr Kreativität ermöglicht.

www.altair.de

Solidworks 2026 verfügbar

Dassault Systèmes hat die Verfügbarkeit von Solidworks 2026 bekanntgegeben. Wie das Unternehmen ausführt, ermöglichen die neuen KI-gestützten Funktionen für 3D-Design, Zusammenarbeit und Datenmanagement es Anwendern, ihre Innovationsprozesse neu auszurichten.

Zu den wichtigsten Erweiterungen von Solidworks 2026 gehören den Angaben zufolge:

- Generative KI, die die Erstellung und Ausarbeitung von Zeichnungen beschleunigt und die Baugruppenerstellung optimiert, indem sie Befestigungselemente – wie Muttern und Schrauben – automatisch erkennt und zusammenfügt. Das spart Zeit und erhöht die Genauigkeit.

- Ein integrierter KI-gestützter virtueller Assistent, der Wissen aus Community-Beiträgen, Wikis, Fragen und Ideen extrahiert, zusammenfasst und in zunehmend relevante Antworten überführt. Dadurch lässt sich die Produktivität und Zusammenarbeit zwischen Teams maßgeblich verbessern.

- Erweiterte Funktionen für große Baugruppen wie das selektive Laden, um durch optimierte, produktionsreife Workflows effizienter und smarter zu arbeiten.

- Erweiterte Anwendererfahrung, die auch bei kurzfristigen Unterbrechungen der Internetverbindung arbeitsfähig bleibt, häufig verwendete Befehle hervorhebt und durch erweiterte Befehlssuche einen schnellen Einstieg in Funktionen ermöglicht.

- Verbesserte Teilefunktionen für eine optimierte Fertigung physischer Produkte, schnelleres Skizzieren und vereinfachte Definition von Flanschanfangs- und -endpunkten bei Blechen, um die Fertigung von Teilen zu beschleunigen.

- Zeichnungstempel mit neuen Nutzerattributen, die ein präzises und nahtloses Änderungsmanagement ermöglichen und gleichzeitig die Rückverfolgbarkeit und Kommunikation verbessern.

- Verwaltete Zuschnittlisten auf der 3D-Experience-Plattform, die Stücklisten aus Engineering und Fertigung integrieren, um Design und Produktion mit weniger Aufwand aufeinander abzustimmen.

- Verbesserte Ansicht der zuletzt verwendeten Dateien, die ausschließlich für den aktiven Mandanten relevante Dateien anzeigt, um Ablenkungen zu reduzieren und Duplikate zu vermeiden.

www.solidworks.com/de

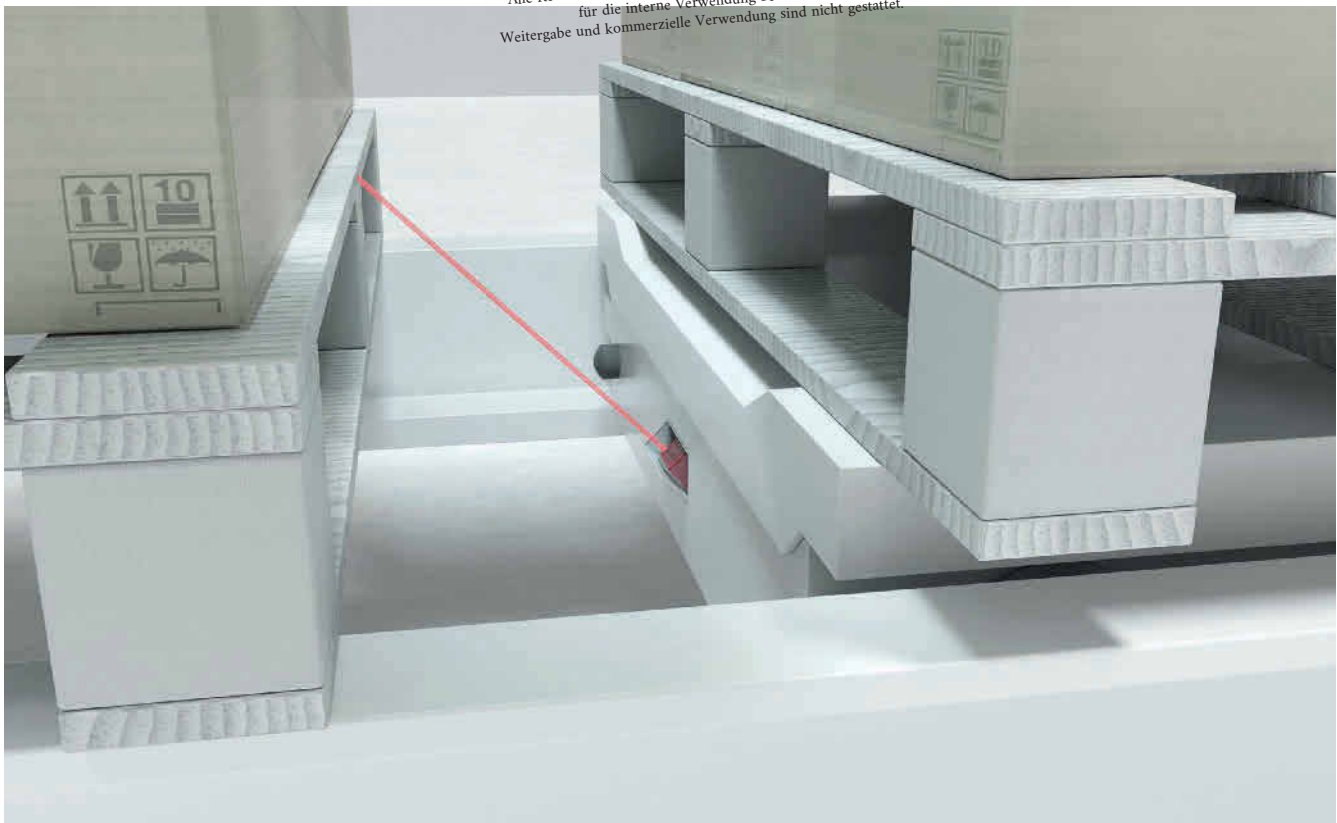


Bild 1 Mit Künstlicher Intelligenz lässt sich die Präzision optischer Distanzsensoren auf ein neues Niveau heben. Beispielsweise beim Einsatz in der Intralogistik. Bild: Leuze

Trainiert auf Präzision

Sensorik mit KI auf ein neues Niveau heben

Mit Künstliche Intelligenz (KI) kann die Messgenauigkeit optischer Distanzsensoren für anspruchsvolle industrielle Anwendungen signifikant verbessert werden. Diese Innovation führt zu einer Halbierung der Messunsicherheit, ohne dass im laufenden Betrieb zusätzliche Rechenressourcen benötigt werden. Die Lösung basiert auf einem neuronalen Netz.

TEXT: Janina Sanzi

Optische Distanzsensoren mit Time-of-Flight-Technik (TOF) bieten Anlagenbetreibern viele Vorteile. Sie ermöglichen es, große Distanzen schnell und berührungslos zu messen. Zudem sind die Sensoren unempfindlich gegen Umgebungslicht und liefern die Distanzdaten kontinuierlich in Echtzeit.

Das Funktionsprinzip: Die Sensoren erfassen zur Distanzmessung die Laufzeit von ausgesendetem Licht bis zum Objekt und zurück. In der Regel werden dafür Laser- oder LED-Impulse verwendet. Allerdings bringt TOF auch Schwächen hinsichtlich der Messgenauigkeit mit sich: Wie präzise die Ergebnisse sind, hängt stark von der Beschaffenheit der Objekt-oberfläche ab. So können dunkle Oberflä-

chen das reflektierte Signal abschwächen. Sie erzeugen schmalere Impulse und das Echo wird später detektiert. Helle Oberflächen erzeugen dagegen stärkere Signale mit größerer Pulsbreite und früherer Detektion. Das heißt: Je nach Oberfläche des Objekts wird das zurückkommende Signal zu unterschiedlichen Zeiten detektiert. Dadurch kann es zu Messfehlern kommen, die ausgeglichen werden müssen.

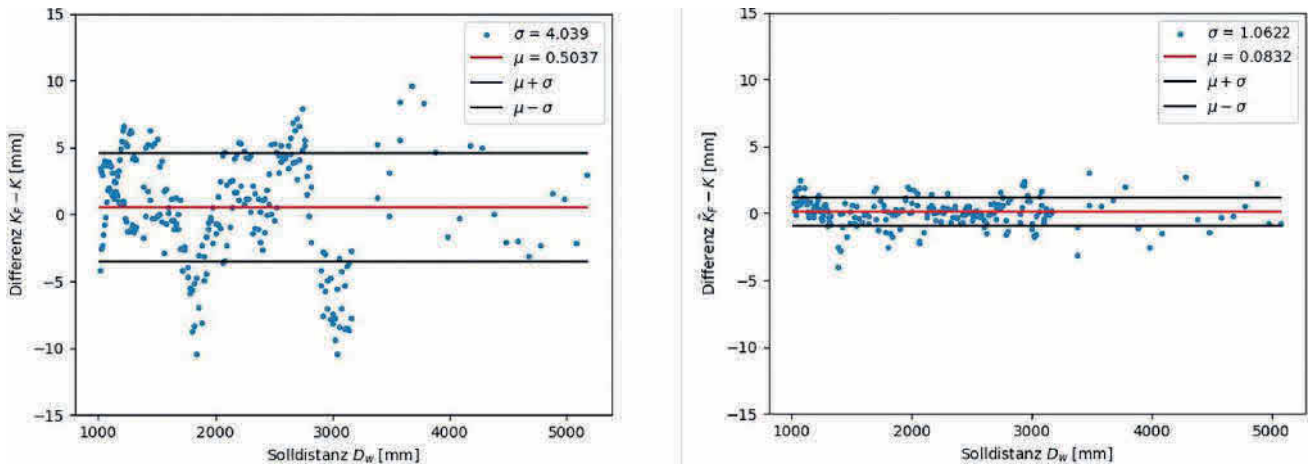


Bild 2 Vergleich: Korrekturwerte für das Polynom (li.) und das neuronale Netz (re.). Die Korrekturwerte lassen sich mit dem neuronalen Netz deutlich genauer bestimmen. Die Standardabweichung wird um mehr als Faktor 2 reduziert. Grafik: Leuze

Um diese Fehler zu korrigieren, werden bislang mathematische Modelle auf Basis definierter Algorithmen eingesetzt. Für viele verschiedene Oberflächen und Entfernungen wird ein Korrekturwert berechnet, der später automatisch angewendet wird. Diese Berechnung basiert auf einer sogenannten Polynomfunktion. Bei stabilen, kontinuierlichen Fehlerverläufen bieten sie eine effiziente Lösung. Ein Nachteil liegt jedoch in der begrenzten Abbildungsgenauigkeit bei komplexen Einflüssen, etwa bei stark variierenden Oberflächenreflexionen. Weil die Modellparameter fest vorgegeben sind, können sich die Funktionen nicht automatisch an veränderte Umgebungen anpassen.

Die Experten bei Leuze setzen auf eine präzisere und flexibler einsetzbare Lösung. Statt mit starren Formeln zu arbeiten, nutzt das Unternehmen ein neuronales Netz, um den Korrekturwert zu ermitteln. Ein neuronales Netz ist eine Form der KI, die dem menschlichen Gehirn nachempfunden ist. Es besteht aus Knoten (Neuronen) in drei Arten von Schichten: der Eingabeschicht (Input Layer), verborgenen Schichten (Hidden Layers) und der Ausgabeschicht (Output Layer). Das neuronale Netz verarbeitet Informationen, indem es Eingangsdaten schrittweise durch diese Schichten leitet. Die Neuronen gewichten ihre Ergebnisse, fassen sie zusammen und wandeln sie über Funktionen so um, dass am Ende ein präzises Ergebnis entsteht. Eine sogenannte Aktivierungsfunktion entscheidet, wie stark ein Neuron „aktiv“ wird, also welchen Wert es an die nächste Schicht weitergibt. Diese Aktivierungsfunktion er-

möglicht es, dass das Netz auch komplexe, nichtlineare Zusammenhänge lernen kann und sich nicht nur auf einfache Rechenmuster beschränkt.

Die von Leuze entwickelte KI-Lösung lernt anhand von Beispieldaten, wie sich Helligkeit und Oberflächenbeschaffenheit auf die Messung des optischen Distanzensors auswirken. Dadurch lassen sich die Messwerte viel besser korrigieren. Das neuronale Netz wird mit Daten bestehend aus Rohdistanzwerten und Pulsbreiten als Eingangsparametern sowie den dazugehörigen normierten Korrekturwerten am Ausgang trainiert. Die Trainingsdaten lassen sich aus dem Produktionsprozess generieren, in dem viele Messwerte gesammelt werden: bei hellen, dunklen und unterschiedlich strukturierten Oberflächen sowie bei verschiedenen Abständen. Diese Messwerte werden an die Steuerung der Produktionseinrichtung kommuniziert. Daraus berechnet das neuronale Netz der Produktionseinrichtung die Korrekturwerte für den Sensor. Im laufenden Einsatz braucht der Sensor dann keine zusätzliche Rechenleistung – die KI hat alles bereits „gelernt“.

Das neuronale Netz besteht aus fünf Schichten. In jeder Schicht sind alle Neuronen vollständig miteinander verbunden. Dadurch fließt jede Information in die Berechnung ein. Verwendet wird eine sogenannte ReLU-Aktivierungsfunktion: ReLU steht für „Rectified Linear Unit“. Diese sorgt dafür, dass das Netz negative Zahlen auf null setzt und nur positive Werte weiterverarbeitet – vergleichbar zu einem Filter, der nur positive Signale durchlässt und dadurch den Lernprozess stabil und

zuverlässig macht. Das hat zwei Vorteile: Zum einen arbeitet das Netz dadurch schneller, zum anderen vermeidet es Rechenprobleme, die bei anderen Verfahren auftreten können. Die letzte Schicht des Netzes – die Ausgangsschicht – legt den finalen Korrekturwert fest. Dabei wird als Aktivierungsfunktion „tanh“ (Tangens Hyperbolicus) eingesetzt. Diese stellt sicher, dass der berechnete Korrekturwert immer in einem festgelegten Bereich zwischen -1 und +1 liegt. Das System rechnet diesen Wert anschließend so um, dass er direkt angibt, wie stark der Sensor den gemessenen Abstand korrigieren muss, um präzise Ergebnisse zu liefern.

TOF-Distanzsensoren mit KI-basierter Korrektur bieten sich in der industriellen Automatisierung vor allem dort an, wo es auf präzise Messergebnisse ankommt, etwa bei der Navigation und Kollisionsvermeidung, der Fördertechnik oder bei Sicherheitsanwendungen.

Fazit: Mit KI hebt Leuze die Präzision optischer Distanzsensoren auf ein neues Niveau. Tests haben gezeigt: Die Methode reduziert mit ihrer KI-basierten Kalibrierung die systematischen Messfehler, also die Abhängigkeit der Messergebnisse von Oberfläche und Abstand, um mehr als die Hälfte. Anwender profitieren von einer robusteren und genaueren Messung, auch bei schwierigen Oberflächen.

Janina Sanzi

Competence Center Software
Leuze electronic GmbH + Co. KG
Janina.Sanzi@leuze.com
www.leuze.com

Schlüssel zur sicheren Wasserstofftechnik

Werkstoffprüfung unter Einfluss von Druckwasserstoff bis 1.000 bar

Wasserstoff gilt als einer der zentralen Pfeiler der Energiewende, weil er sowohl zum Speichern regenerativ erzeugter Energie als auch als Kraftstoff oder Prozessgas eingesetzt werden kann.

Voraussetzung für seinen breiten industriellen Einsatz ist jedoch eine sichere und langlebige Infrastruktur, die dauerhaft hohen Drücken und chemisch aggressiven Bedingungen standhalten. Problematisch ist die Wasserstoffversprödung, die dazu führen kann, dass selbst hochfeste Stähle oder Nickellegierungen unter Druckwasserstoff deutlich an Leistungsfähigkeit verlieren.

Dort setzt die Werkstoffprüfung unter Druckwasserstoff an: Sie liefert die wissenschaftlich-technische Grundlage, um das Verhalten von Materialien unter realistischen Einsatzbedingungen zu verstehen und die Zuverlässigkeit zu gewährleisten.

Die Wasserstofftechnik gilt als einer der zentralen Pfeiler der Energiewende. Als vielseitiger Energieträger kann Wasserstoff sowohl zur Speicherung regenerativ erzeugter Energie als auch als Kraftstoff oder Prozessgas eingesetzt werden. Voraussetzung für seinen breiten industriellen Einsatz ist jedoch eine sichere und langlebige Infrastruktur – bestehend aus Leitungen, Speichern, Ventilen und Armaturen, die dauerhaft hohen Drücken und chemisch aggressiven Bedingungen standhalten. Genau an dieser Stelle setzt die Werkstoffprüfung unter Druckwasserstoff an: Sie liefert die wissenschaftlich-technische Grundlage, um das Verhalten von Materialien unter realistischen Einsatzbedingungen zu verstehen und die Zuverlässigkeit sicherzustellen.

Wasserstoffinfrastruktur: Herausforderung für die Werkstofftechnik

Der Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur in Deutschland stellt nicht nur eine logistische und wirtschaftliche, sondern vor allem auch eine werkstofftechnische Herausforderung dar. Geplant ist, große Teile des bestehenden Erdgasnetzes auf den Transport von Wasserstoff umzustellen (Stichwort H2 ready). Dabei müssen tausende Kilometer Rohrleitungen, Armaturen und Schweißverbindungen hinsichtlich ihrer Wasserstofftauglichkeit bewertet werden. Werkstoffe, die jahrzehntelang zuverlässig Erdgas transportierten, können durch die Diffusion von Wasserstoff völlig andere Alterungsmechanismen aufweisen.

Außer dem Transport spielt auch die Speicherung eine zentrale Rolle. Hochdrucktanks, Verdichter und Ventile müssen Drücken bis zu 700 bar standhalten und zugleich extrem dicht sein. Werkstoffprüfungen unter Druckwasserstoff liefern hier die entscheidenden Daten, um geeignete Materialien auszuwählen, ihre Lebensdauer zu berechnen und das Sicherheitsniveau zu validieren. Ohne diese Prüfungen wären Zulassungen oder Zertifizierungen solcher Komponenten nicht möglich.



Bild 1 Detailaufnahme eines Prüfsystems zum Prüfen metallischer Hohlproben unter Druckwasserstoff. Foto: ZwickRoell

Wasserstoffversprödung – unsichtbarer, aber kritischer Mechanismus

Wasserstoff ist aufgrund seiner geringen Molekülgröße in der Lage, tief in metallische Materialien einzudringen. Dieser Diffusionsprozess führt zur sogenannten Wasserstoffversprödung (Hydrogen Embrittlement, HE). Dabei lagern sich H₂-Atome an Defekten, Korngrenzen oder Versetzungen im Kristallgitter an und schwächen metallische Bindungen. Die Folge sind ein Verlust an Duktilität, eine verringerte Bruchzähigkeit und ein beschleunigtes Risswachstum. Selbst hochfeste Stähle oder Nickellegierungen, die unter Luft oder Inertgasen hervorragende Eigenschaften zeigen, können unter Druckwasserstoff deutlich an Leistungsfähigkeit verlieren.

Besonders kritisch sind zyklische Belastungen bei wechselndem Druck oder Temperatur. Dabei kann Wasserstoff in Kombination mit mechanischen Spannungen Mikrorisse initiieren, die sich im Laufe der Zeit zu makroskopischen Fehlstellen ausweiten. Diese Effekte treten nicht nur an metallischen Werkstoffen auf, sondern auch an Schweißnähten, Dichtungen oder Beschichtungen – weshalb eine ganzheitliche Betrachtung des gesamten Systems erforderlich ist.

Autoklavenprüfungen – realitätsnahe Simulation unter Hochdruck

Bei der Autoklavenprüfung wird eine Materialprobe in einem hermetisch geschlossenen Druckbehälter (Autoklav) einer kontrollierten Wasserstoffatmosphäre ausgesetzt. Der Druck kann dabei bis in den Bereich von 1.000 bar reichen, die Temperatur variiert je nach Anwendungsfall. Während der Prüfung wird die Probe mechanisch belastet – etwa durch Zug-, Biege- oder Zeitstandversuche. Moderne servohydraulische Prüfmaschinen ermöglichen dabei die präzise Regelung von Kraft, Weg und Dehnung auch unter Hochdruckbedingungen.

Die Kombination dieser Parameter erlaubt es, Kennwerte wie die Bruchzähigkeit (K_{IC}), den Schwellenwert der Spannungintensität unter Wasserstoff (K_{IH}) oder das Rissausbreitungsverhalten zu bestimmen. Prüfverfahren nach ASTM E1681 oder ASTM F1624 definieren hierbei standardisierte Vorgehensweisen. Solche Daten sind essenziell, um Werkstoffe für Wasserstoffanwendungen zu qualifizieren und Lebensdauerprognosen zu erstellen.

Autoklavenprüfungen erfordern allerdings aufwendige Sicherheitseinrichtungen, da Wasserstoff in Verbindung mit Sauerstoff explosionsfähig ist. Entsprechend hoch sind die Anforderungen an Dichtheit, Materialauswahl und Überwachung der Prüfanlage.

Hohlprobenprüfung: wirtschaftliche Alternative zur Autoklaventechnik

Eine kosteneffizientere Variante stellt die Hohlprobenprüfung dar. Dabei wird eine dünnwandige Hohlprobe außerhalb der Prüfmaschine mit Wasserstoffgas unter Druck befüllt und anschließend verschlossen. Die mit Gas gefüllte Probe wird danach in einer konventionellen Zugprüfmaschine getestet. Da der Wasserstoff im Inneren eingeschlossen bleibt, kann das Werkstoffverhalten unter realistischen Bedingungen untersucht werden, ohne dass das gesamte Prüfsystem unter Druck steht.



Bild 2 Metallische Hohlprobe unter Druckwasserstoff bis 1.000 bar. Foto: ZwickRoell



Bild 3 Gesamtansicht des Prüfstandes. Foto: ZwickRoell

Diese Methode benötigt nur einen Bruchteil des Wasserstoffvolumens einer Autoklavenprüfung und reduziert dadurch die sicherheitstechnischen Anforderungen erheblich. Zudem lassen sich Prüfungen mit unterschiedlichen Gasen – etwa Wasserstoff, Erdgas oder Stickstoff – vergleichend durchführen. Typische Anwendungen sind Zugversuche, Zeitstandversuche mit langsamer Dehnungsgeschwindigkeit (Slow Strain Rate Testing, SSRT) oder Ermüdungsversuche mit niedrigen Frequenzen. Forschungsprojekte wie TransHyDE arbeiten derzeit daran, die Ergebnisse aus

Hohlprobenprüfungen mit klassischen Autoklavenversuchen zu korrelieren und normativ zu verankern.

Die Werkstoffprüfung unter Einfluss von Druckwasserstoff ist ein unverzichtbarer Bestandteil der modernen Wasserstofftechnologie. Sie schafft die Basis für Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und Langlebigkeit der gesamten Infrastruktur – von der Pipeline über den Speicher bis hin zur Brennstoffzelle. Prüfverfahren wie die Autoklav- und Hohlprobenmethode ermöglichen es, das komplexe Wechselspiel zwischen mechanischer Belastung und Wasserstoffdiffusion zu verstehen und quantitativ zu bewerten.

Mit dem zunehmenden Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur in Deutschland und Europa wächst auch die Bedeutung dieser Prü-

fungen. Nur durch eine systematische, normgerechte Materialqualifikation lässt sich gewährleisten, dass Wasserstoff sicher, effizient und nachhaltig genutzt werden kann – als Energieträger der Zukunft und als Schlüsseltechnik der Energiewende.

Kontakt

Zwick Roell GmbH & Co. KG
89079 Ulm
Tel. (0 73 05) 10 0
www.zwickroell.com

ZWICKROELL SCIENCE AWARD

Dr. Sergi Parareda Oriol vom Eurecat – Centre Tecnològic de Catalunya in Spanien ist mit dem mit 5000 Euro dotierten „ZwickRoell Science Award“ ausgezeichnet worden. Er hat eine schnelle Prüfmethode zur Bewertung der Mode I Fatigue Delamination in kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) entwickelt. Die Methode liefert den Angaben zufolge präzise Ergebnisse mit wenigen Proben und einer stark verkürzten Prüfdauer.

Mit der von Parareda Oriol entwickelten Methodik lassen sich wichtige Parameter, beispielsweise Bruchzähigkeit, Beginn der Rissbildung, Schwellenwert für Rissbildung und Rissfortschrittsverhalten, mit wenigen Proben und in deutlich kürzerer Zeit bestimmen als beim herkömmlichen Verfahren. Die Ergebnisse zeigen dabei lediglich eine Abweichung von unter 10 % im Vergleich zur nach ASTM D6115 standardisierten Methode, heißt es weiter. Damit sei das von Dr. Parareda Oriol entwickelte Prüfverfahren eine vielversprechende Alternative zur schnellen Bewertung der Ermüdungsbeständigkeit von Verbundwerkstoffen.

Der verwendete Double Cantilever Beam Test (DCB) ist insbesondere für Composite Strukturen im Bereich Luft- und Raumfahrt relevant und wird als statischer Versuch sowie als Ermüdungsversuch durchgeführt. Die mit dem „ZwickRoell Science Award 2024“ prämierte Veröffentlichung „A rapid testing method for assessing mode I fatigue delamination of carbon fibre-reinforced polymer“ ist erschienen im International Journal of Fatigue 187 (2024).

Die Gewinner des Jahres 2025 haben ihre prämierten Veröffentlichungen in kurzen Präsentationen während der Fachmesse test-Xpo 2025 im Oktober 2025 auf dem Firmencampus von ZwickRoell in Ulm präsentiert. Insgesamt 92 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 23 Ländern hatten ihre Arbeiten aus unterschiedlichen Bereichen der Materialprüfung eingereicht. Der von Prüfmaschinenhersteller ZwickRoell gestiftete Forschungspreis würdigt – inzwischen schon zum 15. Mal – herausragende wissenschaftliche Arbeiten, die einen wertvollen Beitrag leisten zur Erweiterung des Verständnisses der mechanischen Prüfung in unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen. In diesem Jahr findet die Fachmesse für Prüftechnik zum 34. Mal statt, vom 12. bis zum 15. Oktober 2026.

Die weiteren Preisträger:

- Platz zwei (2.000 Euro): Dr. Renato Almeida, Universität Bremen für seine Veröffentlichung „Identifying damage mechanisms of composites by acoustic emission and supervised machine learning“ in Materials & Design 227 (2023)
- Platz drei (1.000 Euro): Dr. Christoph Hartmann von der Technische Universität München für seine Veröffentlichung „Straightforward identification of flow curve and yield locus parameters from three-point bending experiments“ in the International Journal of Material Forming (2024)



Die Gewinner des Science Awards (v.l.): Dr. Jan Stefan Roell, Aufsichtsratsvorsitzender der ZwickRoell SE, Christine Dübler, Vorstand für Vertrieb und Service bei ZwickRoell, Dr. Sergi Parareda Oriol, Dr. Renato Almeida, Dr. Christoph Hartmann, Dr. Hannes Körber, Global Industry Management bei ZwickRoell. Foto: ZwickRoell GmbH & Co. KG

Fachteil Ingenieur-Werkstoffe



Der Einsatz von Edelstahl Rostfrei bei Tablettieranlagen trägt entscheidend zur Qualität, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit der Produkte bei.
Foto: L.B. Bohle

KUNSTSTOFFE

Abfälle aus Altfahrzeugen werden zu neuen Kunststoffkomponenten

LEICHTBAU

Wie Thermoplaste den Kabinenleichtbau in der Luftfahrt neu denken

OBERFLÄCHENTECHNIK

Diamantbeschichtungen für die wirtschaftliche Zirkonoxid-Bearbeitung



Bild 1 Komplexe Abfallströme aus Altfahrzeugen lassen sich durch chemisches Recycling zum Wiedereinsatz in der Schaumstoff-Herstellung für Lenkräder aufbereiten. Foto: Smarterpix / Fahroni

Kreislaufwirtschaft und chemisches Recycling in der Automobilindustrie

Erstes vollständiges Gasifizierungs-Recycling von Altfahrzeugabfällen für neue Kunststoffkomponenten

In einem gemeinsamen Pilotprojekt haben die Porsche AG, die BASF SE und der Technologiepartner BEST – Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH erstmals komplexe Abfallströme aus Altfahrzeugen mittels Gasifizierung in zirkuläre Rohstoffe umgewandelt. Diese neuen Rohstoffe wurden zur Herstellung von Polyurethan für Lenkräder verwendet, wobei fossile Ausgangsmaterialien vollständig ersetzt wurden. Das Vorhaben demonstriert, dass chemisches Recycling selbst stark heterogene Abfälle stofflich nutzbar macht und in den Produktionskreislauf zurückführen kann.

Die Porsche AG und die BASF SE haben in Zusammenarbeit mit dem Technologiepartner BEST – Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH ein Pilotprojekt zum Recycling von gemischten Abfällen aus Altfahrzeugen

erfolgreich abgeschlossen. Das Pilotprojekt demonstriert die Recyclingfähigkeit von Hochleistungskunststoffen aus Automobil Schredder Rückständen (ASR) zusammen mit nachwachsenden Rohstoffen. Diese Mischung aus Kunststoff, Folie, Lack und Schaumstoffresten ist so komplex, dass sie aktuell nur thermisch ver-

wertet werden kann. Das Pilotprojekt zeigt, dass sich diese Automobilabfälle mittels der Gasifizierung, einer speziellen Art des chemischen Recyclings, jedoch stofflich nutzen und in den Automobilkreislauf zurückführen lassen.

Durch Pilotprojekte werden neue Kunststoffquellen und Einsatzmöglichkei-

ten von chemischem Recycling in Bauteilen erschlossen. Ziel ist es, in Zukunft weniger Primärmaterial zu beziehen und den Anteil an recycelten Materialien im Fahrzeug zu erhöhen. Im Rahmen des Projekts wurde das chemisch recycelte Material im Herstellungsprozess für Lenkräder verwendet.

„Über derartige Pilotprojekte können wir bewerten, wie wir die Kreislaufwirtschaft bei Porsche weiterentwickeln und chemisches Recycling langfristig in unserer Strategie integrieren können,“ sagt Dr. Robert Kallenberg, Leiter Nachhaltigkeit der Porsche AG. „Wir testen mit unseren direkten Partnern gezielt neue Recyclingtechnologien, um Rezyklatquoten zu erhöhen, Zugang zu bisher nicht nutzbaren Rezyklatquellen zu erhalten und neue Verfahren für Abfallströme zu bewerten, die derzeit thermisch verwertet werden.“

Porsche verfolgt das Ziel, die Kreislaufwirtschaft bei der Fahrzeugherstellung aktiv zu fördern und den Anteil recycelter Materialien in den eigenen Fahrzeugen schrittweise zu erhöhen. Durch das Pilotprojekt kann das Potenzial der Automobil Schredder Rückstände als zukünftige Rezyklat-Quelle und damit als Sekundärrohstoff bewertet werden: Es ist damit eine zusätzliche Option zum mechanischen Recycling, dem diese hohe Qualitätsstufe oft nicht zugänglich ist. Darüber hinaus ist in Verbindung mit dem sogenannten Massenbilanzansatz zukünftig eine bedarfsgerechte Skalierung möglich.

Vollständig nicht-fossile Gasifizierung zur Herstellung neuer Kunststoffe

Bei dem abgeschlossenen Projekt konnte erstmals ein Abfallstrom, der nur aus Automobilabfällen und Biomasse bestand, in einem Gasifizierungsprozess für die Kunststoffproduktion recycelt werden. Der dabei entstehende recycelte Rohstoff – das sogenannte Synthesegas und seine Derivate – ersetzt die fossilen Rohstoffe in der integrierten BASF-Wertschöpfungskette. Innerhalb ihres Produktionsnetzwerks stellt BASF dann die für das Lenkrad benötigte Polyurethan-Rezeptur nach einem Massenbilanzansatz her.

Die Recycling-Innovation verwendet moderne Gasifizierungstechnologie von BEST GmbH, um Kunststoffabfälle und andere Reststoffe bei hoher Temperatur in Synthesegas umzuwandeln. „In unserer Anlage haben wir bisher Biomasse wie Holz oder Stroh in Chemie-Rohstoffe umgewandelt. In diesem Pilotprojekt haben



Bild 2 Die Porsche AG und die BASF SE haben in Zusammenarbeit mit dem Technologiepartner BEST – Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH ein Pilotprojekt zum Recycling von gemischten Abfällen aus Altfahrzeugen erfolgreich abgeschlossen. Grafik: BASF SE



Bild 3 Die ETH Zürich hat in einer neuen Studie gezeigt, dass die Gasifizierung von Automobil-Schredderrückständen in Kombination mit Bioabfällen im Vergleich zur energetischen Verwertung durch Verbrennung Treibhausgasemissionen einspart. Gleichzeitig entsteht dabei ein neuer zirkulärer Rohstoff für die chemische Industrie. Foto: BASF

wir diese Gasifizierungstechnologie nun zusammen mit BASF und Porsche erstmals dazu genutzt, komplexe Kunststoffabfallströme in synthetisches Rohöl, sog. Syncrude, zu verwandeln“, erläutert Dr. Matthias Kuba, Area Manager Syngas Platform Technologies bei BEST – Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH in Wien. „Diese Form des chemischen Recyclings hat großes Potenzial zur Umwandlung komplexer, gemischter Abfallströme in neue, wertvolle Rohstoffe. Dadurch stellt sie eine sinnvolle Alternative zur Verbrennung von Abfällen dar.“

Technologiespektrum breit halten

„Unter „Our Plastics Journey“ fassen wir bei BASF die drei Phasen des Produktlebenszyklus make, use, recycle zusammen. Für Letzteres bieten wir eine breite Palette an Recyclinglösungen an, da wir überzeugt sind, dass viele Methoden sich gegenseitig ergänzen müssen, um Recyclingziele zu erreichen. Wir priorisieren mechanisches Recycling und verbessern kontinuierlich dessen Effizienz. Die Art des Abfalls und der Grad der Sortierung bestimmen, welche Technologien am

besten geeignet sind. Wir sind überzeugt, dass ergänzende Technologien wie das chemische Recycling, zu dem Pyrolyse, Depolymerisation und Gasifizierung gehören, notwendig sind, um die Kreislaufwirtschaft weiter zu fördern und den Kunststoffabfall zu verringern, der heute noch auf Deponien landet oder verbrannt wird“, erklärt Dr. Martin Jung, Leiter des Unternehmensbereichs BASF Performance Materials. „Um die verschiedenen Optionen zur Abfallverwertung optimal zu nutzen und alle Technologien parallel weiterzuentwickeln, ist der geeignete regulatorische Rahmen unerlässlich.“

ETH Zürich bewertet Emissionen des Pilotprojekts

Eine neue Forschungsstudie der ETH Zürich hat in Zusammenarbeit mit der BASF den beschriebenen alternativen Verwertungsweg für gemischte Kunststoffabfallströme aus Altfahrzeugen untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass das Recycling von einem Kilogramm Automobil-Schredderrückständen zusammen mit drei Kilogramm Biomasse die Treibhausgasemissionen im Vergleich zur energetischen Verwertung durch Verbrennung um mehr als drei kg CO₂-Äquivalente reduziert. Vor dem Hintergrund der geplanten EU-Gesetzgebung zu Altfahrzeugen sind diese Ergebnisse auch für politische Entscheidungsträger relevant. Die Studie der ETH Zürich knüpft an dem beschriebenen Ga-

sifizierungs-Pilotprojekt von BASF und der BEST GmbH an.

Weniger Abfall, neue Rohstoffe, geringere Emissionen

Die Studie zeigt, dass durch die gemeinsame Gasifizierung von Kunststoffen und Biomasse anstelle der Verbrennung zur Strom- und Dampferzeugung Dampf und Synthesegas entstehen, das als wertvoller Rohstoff für die chemische Industrie genutzt werden kann.

Die Bereitstellung dieses neuen zirkulären Rohstoffs für die Chemieindustrie senkt den Verbrauch fossiler Ressourcen, reduziert Emissionen und hält Kohlenstoff im Stoffkreislauf.

„Die Schließung des Kohlenstoffkreislaufs durch Kunststoffrecycling ist nicht nur vorteilhaft für das Klima, sondern auch entscheidend für die Schonung von Ressourcen – ein wesentlicher Schritt hin zu einer Kunststoffindustrie, die innerhalb planetarer Grenzen operiert“, sagt André Bardow, Professor an der ETH Zürich. Um fossile Rohstoffe durch Alternativen aus Kunststoff- und Bioabfallströmen zu ersetzen, sei ein unterstützender rechtlicher Rahmen erforderlich, der gemischte Kunststoffabfälle als recyclingfähig anerkennt und langfristige Zielvorgaben für diesen Ersatz formuliert. „Ein ambitioniertes Setzen von Zielen statt Ausnahmeregelungen und Überprüfungsklauseln sollte die Grundlage für politische Rah-

menbedingungen bilden, damit Industrien ökologische Ziele erreichen können. Darüber hinaus sind Sektorkopplung und branchenübergreifende Zusammenarbeit entscheidend, um Emissionsminderungen zu beschleunigen“, erklärt Prof. Catharina Bening von der ETH Zürich.

Während die Gesetzgebung die Gasifizierung von Bioabfällen bereits unterstützt – was zu ersten Investitionen im Bereich maritimer und luftfahrtbezogener Kraftstoffe geführt hat – gibt es bislang keine vergleichbare Unterstützung für das Recycling von Kunststoffabfallströmen mittels Gasifizierung. „Es ist nicht effizient, separate Gasifizierungsanlagen für Bioabfälle und Kunststoffabfälle zu betreiben. Stattdessen plädieren wir dafür, dass politische Rahmenbedingungen eine Mehrzwecknutzung der Anlagen über einen geprüften, flexiblen Massenbilanzansatz ermöglichen“, ergänzt Martin Jung, President der Division Performance Materials bei BASF.

Eine Million Tonnen Kunststoffabfälle aus Altfahrzeugen sinnvoll nutzen

Das Potenzial nicht-fossiler Rohstoffe aus automobilen Kunststoffabfällen ist erheblich. Schätzungen zufolge werden in Europa jährlich über eine Million Tonnen Kunststoffabfälle aus Altfahrzeugen entweder verbrannt oder deponiert.

Zwar bestehen Möglichkeiten, größere Anteile dieser Abfälle für das mechanische Recycling zu separieren, jedoch verbleibt stets ein Reststrom gemischter Kunststoffabfälle. Die Studienergebnisse zeigen, dass das Recycling dieser Kunststoffabfälle in Kombination mit Biomasse in einer Mehrzweckanlage möglich ist und im Vergleich zur energetischen Verwertung durch Verbrennung zu geringeren CO₂-Emissionen führt.

Aufgrund der hohen Qualität der aus diesen Abfällen gewonnenen neuen zirkulären Rohstoffe weisen die daraus hergestellten Materialien, etwa Kunststoffe, Neuwarequalität auf und erfüllen die hohen Anforderungen an Hochleistungskunststoffe, wie sie insbesondere für sicherheitsrelevante Automobilbauteile erforderlich sind. ■

PROJEKTPARTNER IM ÜBERBLICK

BASF

Im Kontext des Projekts bringt BASF ihre Kompetenz in der chemischen Wertschöpfung, der Entwicklung von Kunststoffen sowie in integrierten Produktions- und Recyclingprozessen ein. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Weiterentwicklung zirkulärer Rohstoffströme und der Integration chemischer Recyclingverfahren in bestehende industrielle Strukturen.

Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG

Porsche übernimmt im Projekt die Rolle des industriellen Anwenders und bewertet die Einsatzmöglichkeiten chemisch recycelter Materialien in automobilen Anwendungen. Ziel ist es, das Potenzial neuer Recyclingtechnologien für die Fahrzeugproduktion zu untersuchen und deren Beitrag zur schrittweisen Erhöhung des Rezyklatanteils in Fahrzeugkomponenten zu analysieren.

BEST – Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH

BEST ist ein forschungsorientiertes Technologieunternehmen mit Sitz in Wien, das sich auf angewandte Forschung und Entwicklung in den Bereichen Bioenergie, biobasierte Rohstoffe und nachhaltige Energiesysteme spezialisiert hat. Im Projekt stellt BEST die Gasifizierungstechnologie bereit und verantwortet deren Anwendung zur Umwandlung komplexer Abfall- und Biomasseströme in chemische Rohstoffe. Als Schnittstelle zwischen Forschung und industrieller Umsetzung trägt BEST zur Übertragung neuer Verfahren in praxisnahe Anwendungen bei.

*Die in diesem Text genannten Emissionen beziehen sich auf Treibhausgasemissionen, gemessen in CO₂-Äquivalenten (CO₂-eq), auf Basis einer „cradle-to-gate“-Betrachtung.

Biokunststoff PBS

Neue Typen für industrielle Anwendungen

Biokunststoffe gelten als umweltfreundliche Alternativen zu konventionellen Kunststoffen. Sie reduzieren den Bedarf an fossilen Rohstoffen, schonen Ressourcen und tragen dazu bei, den CO₂-Ausstoß zu senken. Für industrielle Anwendungen sollten sie jedoch nicht nur nachhaltig sein, sondern sich auch gut verarbeiten lassen. Genau daran arbeitet das Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP.

Innerhalb des Projekts RUBIO (Regionales unternehmerisches Bündnis zum Aufbau von Wertschöpfungsketten für technische Biokunststoffe in Mitteldeutschland) wurden rund 20 neue Typen des Kunststoffs Polybutylensuccinat (PBS) entwickelt, im Pilotmaßstab hergestellt und verarbeitet. Spritzgießen, Tiefziehen, Extrudieren, Spinnen – die neuen PBS-Typen, die auf Basis pflanzlicher Reststoffe hergestellt werden können, eignen sich für unterschiedliche Verarbeitungsverfahren und kommen somit für eine Vielzahl von Anwendungen in Frage – für Verpackungen, Gebrauchsgüter oder auch Textilien.

Die Forschenden des Fraunhofer IAP haben die Synthese von PBS vom Labor- bis in den 100-kg Maßstab übertragen. Insgesamt wurden bereits rund drei Tonnen PBS hergestellt. Durch Variation der Syntheseparameter konnten verschiedene PBS-Typen realisiert werden. Für das Spritzgießen entstanden drei Varianten mit unterschiedlicher Fließfähigkeit. Weitere PBS-Typen eignen sich für das Blasformen, Thermoformen, für die Blasfolien- oder Flachfolienextrusion sowie für Melt-Blown-Verfahren oder Spinn-Vliese. Entscheidend für die Verarbeitbarkeit ist die Polymerstruktur. Je nach Verarbeitungsart müssen die Molekülketten unterschiedlich aufgebaut sein. Die Forschenden konnten sowohl vollständig lineare als auch gezielt verzweigte Polymerstrukturen herstellen – jeweils passend zum vorgesehenen Verarbeitungsverfahren. Gleichzeitig wurde die Schmelzstabilität der Materialien verbessert: Die neuen PBS-Typen halten Temperaturen von über



Die neuen PBS-Typen lassen sich effizient und stabil mit der gängigen Maschinenteknik verarbeiten. Erste marktfähige Produkte wurden im Blasform- bzw. Spritzgussverfahren hergestellt. Foto: Fraunhofer IAP / Jadwiga Galties

200 °C stand – ein wichtiger Schritt für industrielle Anwendungen.

Erprobt in der Anwendung

Gemeinsam mit Industriepartnern wie der Sauer GmbH & Co. KG und der Gramß GmbH Kunststoffverarbeitung entstanden erste marktfähige Produkte: Eine Sporttrinkflasche und der passende Verschluss – gefertigt im Blasform- bzw. Spritzgussverfahren. Die neuen PBS-Typen wurden von industriellen Kunststoffverarbeitern an der gängigen Maschinenteknik getestet. Die Ergebnisse zeigen: Die PBS-Typen lassen sich unter realen Bedingungen verarbeiten – stabil, effizient und mit überzeugenden mechanischen Eigenschaften. Dr. Jens Balko, Leiter des Verarbeitungszentrums Biopolymere Schwarzheide, ist sich sicher: „PBS wird als biobasiertes und recyclingfähiges Material in naher Zukunft ein echter Game-Changer auf dem Markt der Biokunststoffe sein und eine entscheidende Rolle in der Kreislaufwirtschaft der Kunststoffe spielen. Durch seine ansprechende Haptik und die weiche bis mittelharte Festigkeit ist PBS eine echte Alternative für Produkte, in denen heute noch Polyethylen eingesetzt wird.“ Der Kunststoff PBS kann auf der Basis regionaler, pflanzlicher Reststoffe hergestellt werden. Die Verfahren zur Gewinnung der Bernsteinsäure, einem Schlüssel-molekül der PBS-Synthese, erfordern noch weitere Entwicklungen und Partner. ■



Bild 1 Leichtbau-Lösungen sind für die Luftfahrt essenziell. Jedes eingesparte Kilogramm an Gewicht spart Treibstoff und damit Emissionen. Foto: Smarterpix / titoOnz

Leichtbau als Schlüssel für Effizienz und Klimaziele

Wie Thermoplaste den Kabinenleichtbau in der Luftfahrt neu definieren

Gewicht, Nachhaltigkeit und industrielle Effizienz zählen zu den zentralen Stellhebeln moderner Luftfahrt. Im Projekt „STair“ arbeiten Industrie und Forschung gemeinsam daran, thermoplastische Sandwichstrukturen für Flugzeugkabinen serienreif zu machen. Ziel ist es, etablierte duroplastische Lösungen durch schneller verarbeitbare, energieeffizientere und recyclingfähige Alternativen zu ergänzen – ohne Kompromisse bei Sicherheit, Funktion oder Design.

Leichtbau-Lösungen sind für die Luftfahrt essenziell. Jedes eingesparte Kilogramm an Gewicht spart Treibstoff und damit Emissionen. Das hilft einerseits, die eigenen Nachhaltigkeitsziele zu erreichen, und minimiert andererseits die Folgen der steigenden CO₂-Bepreisung. So kommen in der Kabine für Elemente wie Gepäckfächer oder die Wände der Bordküchen häufig Bauteile in Sandwich-Bauweise zum Einsatz: Dünne, feste Deckplatten umschließen einen leichten Kern.

Das macht robuste und zugleich sehr leichte Konstruktionen möglich. Derzeit dominieren dabei duroplastische Bauteile

mit Phenolharz-basierten Decklagen und einem Wabenkern aus Aramidpapier.

Thermoplastic Sandwich Moulding als technologischer Ansatz

Mit der am Fraunhofer IMWS entwickelten Thermoplastic Sandwich Moulding-Technologie eröffnet sich die Möglichkeit, auch thermoplastische Kunststoffe für solche Anwendungen zu nutzen.

Den Nachweis wollen die Diehl Aviation Laupheim GmbH, die Ensinger GmbH, die ThermHex Waben GmbH und das Fraunhofer IMWS bis April 2027 im Projekt „STair“ liefern. „Die Vorteile wären erheblich: Thermoplastische Systeme lassen sich deutlich schneller verarbeiten,

zudem mit besserer Energie- und Materialeffizienz. Das ist insbesondere bei der Kabine relevant, die im Laufe des Lebenszyklus eines Flugzeugs mehrfach erneuert wird. Sie sind außerdem recycelbar und kommen ohne umweltschädliche Lösungsmittel aus“, sagt Dr.-Ing. Ralf Schlimper, der das Teilprojekt am Fraunhofer IMWS leitet.

Energie- und Emissionspotenziale in der Verarbeitung

Die angestrebte Energie-Einsparung bei der Verarbeitung liegt bei rund 30 % gegenüber dem Stand der Technik und der Verwendung duroplastischer Kunststoffe. Produktionsabfälle sollen mit bis zu 80 %

in der Halbzeugherstellung direkt wiederverwertet werden können. Die Emissionen durch Lösungsmittel während der Produktion sollen um bis zu 80 % sinken.

Um diese Ergebnisse möglich zu machen, gilt es zunächst, die Thermoplastic Sandwich Moulding-Technologie auf die Verarbeitung von hochtemperaturbeständigen thermoplastischen Sandwichstrukturen (HT-TP-Sandwich) anzupassen, die speziell für die Anforderungen der Luftfahrtindustrie konzipiert sind.

Die Methode stellt einen sehr effizienten und hoch automatisierten One-Shot-Prozess aus Thermoformen und Funktionalisieren per Spritzguss dar. Die entsprechenden Prozessschritte (Formgebung, Fügen und Funktionalisierung) müssen jedoch für den Einsatz von HT-Thermoplastkunststoffen weiterentwickelt werden.

Technologieplattform, Simulation und Lebenszyklusbetrachtung

„Wir werden dafür verschiedene Bauteile aus der Kabine betrachten, zunächst Anforderungen definieren und dann die entsprechenden Lösungen für Halbzeuge, Mustermaterialien, attraktive Optik der Bauteile sowie Umform- und Verarbeitungsprozesse entlang verschiedener Prozessrouten entwickeln und erproben. Ziel ist der Aufbau einer Technologieplattform, auch unter Nutzung von Simulations-Tools. Die Bauteile sollen höchstens so schwer sein wie aktuelle duroplastische Lösungen und alle bestehenden Luftfahrtanforderungen erfüllen, damit die Ergebnisse schnell in den Markt überführt werden können. Nicht zuletzt nehmen wir begleitende Lebenszyklusanalysen und Recyclingkonzepte in den Blick“, sagt Schlimper.

Thermoformprozesse, Materialverhalten und Recycling

Am Fraunhofer IMWS steht dabei vor allem die Erforschung effizienter Thermoformprozesse im Fokus. HT-Halbzeuge (ebene Sandwich-Platten mit thermoplastischem Waben- oder Schaumkern sowie mit Deckschichten aus faserverstärkten thermoplastischen Kunststoffen) sollen zu 3D-geformten Bauteilen und Bauteilkomponenten verarbeitet werden. Sie werden dazu zunächst aufgeheizt und dann zügig ins Formgebungswerkzeug überführt, das im Projekt zu entwickeln ist. Dort erfolgt das 3D-Thermoformen bei Temperaturen von mehr als 200°C.

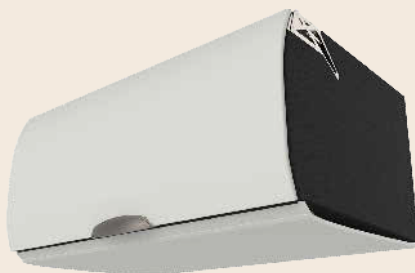


Bild 2 Thermoplastische Sandwichstrukturen sollen die effiziente Herstellung von Gepäckfächern in der Flugzeugkabine ermöglichen, hier eine Handgepäckablage. Foto: Diehl Aviation Lauthpeim GmbH

Eine Herausforderung ist neben der hohen Temperatur das komplexe Verarbeitungsverhalten. Größtenteils soll der leichte Kern in der Fläche erhalten werden, zugleich sollen an Bauteilrändern monolithisch auslaufende Bereiche realisiert werden, die ein komplettes Aufschmelzen und Verpressen des Kerns erfordern. Untersucht werden im Projekt auch Hybrid-Sandwichstrukturen mit einem kombinierten Kern (z.B. Wabenkern in der Fläche und Schaumkern in geometrisch komplexeren Bauteilregionen). Da-

„Die Vorteile wären erheblich: Thermoplastische Systeme lassen sich deutlich schneller verarbeiten, zudem mit besserer Energie- und Materialeffizienz.“

bei werden Verarbeitungsverfahren und die Untersuchung des Materialverhaltens noch komplexer.

Modellierung, Bauteillegung und Prozessverständnis

„Wir haben für dieses Verfahren großes Vorwissen, auch zu unterstützenden Modellierungsansätzen, und die passende technische Ausstattung. So können wir Aspekte wie Bauteilgeometrie, Rand- und Kantenabschlüsse sowie Schnittstellen zu Funktionselementen systematisch untersuchen“, sagt Schlimper.

Auch für die Analyse des Einsatz- und Langzeitverhaltens verfüge das Institut über exzellente Expertise und passende Methoden wie Dehnungsmessungen, morphologische Untersuchungen mit Röntgen-CT und beschleunigte Alterungstests. Zudem wird das Projektteam die Möglichkeiten des stofflichen Recyclings erforschen, etwa die Eigenschaften von Bauteilen, in denen Rezyklate aus Verschnittresten enthalten sind.

Nachhaltigkeit über den gesamten Lebenszyklus

Sind die Projektpartner erfolgreich, werden deutlich nachhaltigere Lösungen für Kabinenbauteile in Flugzeugen möglich. „Mit unserem Ansatz lassen sich Emissionen sowohl während der Herstellung als auch nach dem Ende des Lebenszyklus erheblich reduzieren, zugleich werden die ästhetischen und funktionalen Anforderungen erfüllt“, sagt Schlimper. „Ein großer Vorteil dabei ist, dass in unserer Zusammenarbeit alle Aspekte der Wertschöpfungskette von der Materialherstellung bis zur Bauteilherstellung abgedeckt sind. Das verspricht gute Erfolgsaussichten.“

Übertragung in die industrielle Anwendung

Dr.-Ing. Jochen Pflug, Geschäftsführer der ThermHex Waben GmbH: „Schritt für Schritt überführen wir unsere recycelbaren leichten thermoplastischen Waben-Sandwichmaterialien mit ‚STair‘ von der Automobil- zur Luft- und Raumfahrtindustrie. Wir verbinden dabei die Möglichkeiten für Kostensenkungen und Produktionsautomatisierung erfolgreich mit den erforderlichen Leistungszielen der Branche. Ich bin begeistert und dankbar für die Möglichkeit, unsere Produkte gemeinsam mit starken Partnern weiterzuentwickeln.“

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms (LuFo Klima VII-1) gefördert. ■

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS
Walter-Hülse-Straße 1
06120 Halle (Saale)
www.imws.fraunhofer.de



Die neue DELO-ACTIVIS 330 eignet sich besonders für kleine Dosiermengen und lässt sich dank kompakter Baugröße einfach in bestehende Produktionslinien integrieren. Foto: DELO

Mit der Delo-Activis 330 ergänzt Delo die bestehende Systemlösung Delo-Activis 600 um eine kleinere Variante. Das neue Modell ist mit einer Bauhöhe von rund 387 mm etwa 80 mm niedriger und lässt sich dadurch einfacher in bestehende Fertigungsanlagen integrieren. Gleichzeitig ist das System für präzise Dosiermengen ab vier Mikrolitern ausgelegt und adressiert damit Anwendungen, bei denen bisherige Lösungen aufgrund ihrer Baugröße oder Mindestdosiermenge an Grenzen stießen.

Die Systemlösung basiert auf dem Prinzip der Durchflussaktivierung. Dabei wird der Klebstoff bereits während des Dosierens durch integrierte Belichtung aktiviert. Dosieren und Aktivieren erfolgen in einem Arbeitsschritt, wodurch zusätzliche Prozessstationen entfallen. Das System ist insbesondere für automatisierte Produktionsumgebungen konzipiert, in denen kurze Taktzeiten und eine hohe Reproduzierbarkeit gefordert sind.

Durchflussaktivierung als Alternative zur Ofenhärtung

Die Durchflussaktivierung ermöglicht es, die Aushärtungsreaktion des Klebstoffs einzuleiten, bevor dieser das Bauteil erreicht. Dadurch lassen sich auch Verbindungen in Schattenzonen oder bei lichtundurchlässigen Materialien zuverlässig realisieren. Optional kann eine nachgelagerte Lichtfixierung eingesetzt werden, um das Verrutschen oder Ausfließen des Klebstoffs zu vermeiden. Die Bauteile können anschließend direkt weiterverarbeitet werden. Im Vergleich zu klassischen Ofenhärtungsprozessen reduziert diese Prozesstechnologie den Energiebedarf deutlich. Laut Herstel-

Dosier- und Aushärtungstechnik für Klebprozesse

Kompakte Durchflussaktivierung für präzise Dosiermengen

Die Anforderungen an industrielle Klebprozesse verändern sich: Gefragt sind kompakte Systeme, präzise Dosierung kleinster Mengen und gleichzeitig ein möglichst geringer Energieeinsatz. Mit der Erweiterung der Produktlinie Delo-Activis reagiert Delo auf diese Entwicklungen. Die neue Delo-Activis 330 verbindet Dosieren und Aktivieren des Klebstoffs in einem kompakten System.

lerangaben lassen sich die CO₂-Emissionen gegenüber thermischen Aushärtungsverfahren um bis zu 98 % senken. Neben dem energetischen Aspekt trägt auch der geringere Platzbedarf der Anlagen zur Effizienzsteigerung in der Produktion bei.

Parallel zur Einführung der Delo-Activis 330 erweitert Delo das Angebot an speziell für die Durchflussaktivierung entwickelten Klebstoffen.

Das Portfolio umfasst nun acht Produkte mit unterschiedlichen Eigenschaften, darunter Varianten mit niedriger und hoher Viskosität, transparente und schwarze Klebstoffe sowie weich-elastische und hochfeste Systeme. Damit lassen sich unterschiedliche Bauteilanforderungen und Designkonzepte abdecken, ohne das Grundprinzip des Prozesses zu verändern.

Die neue Systemlösung richtet sich an Anwender, die bestehende Fertigungslinien anpassen oder erweitern möchten, ohne umfangreiche Umbauten vorzunehmen. Erste Rückmeldungen aus der Anwendung heben insbesondere die kompakte Bauweise, die einfache Integration und die Prozessgeschwindigkeit hervor. Damit positioniert sich die Delo-Activis 330 als Ergänzung innerhalb der bestehenden Produktfamilie für präzise, energieeffiziente Dosier- und Aushärtungsprozesse. ■

Kontakt

DELO Industrie Klebstoffe
DELO-Allee 1
86949 Windach
www.delo.de

Forschung an biobasierten Bindemitteln für Holzwerkstoffe

Biobasierte Klebstoffe als Baustein nachhaltiger Spanplatten

Reststoffe aus der Holz- und Biochemie gewinnen in der Werkstoffentwicklung zunehmend an Bedeutung. Forschende am Fraunhofer WKI untersuchen im Projekt LowEPanel, wie sich Lignin und Hydroxymethylfurfural als formaldehydfreie Klebstoffe für die Herstellung von Spanplatten nutzen lassen. Ziel ist es, biogene Rohstoffe in geschlossenen Wertschöpfungsketten einzusetzen und ökologische Alternativen zu etablierten Bindemittelsystemen zu entwickeln.

Die Suche nach nachhaltigen Materialien gewinnt zunehmend an Bedeutung, auch in der Bau- und Möbelindustrie. Forschende am Fraunhofer WKI entwickeln für diesen Bedarf biobasierte Klebstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe und biogener Reststoffe. Im Forschungsprojekt „LowEPanel“ testen sie formaldehydfreie Klebstoffe aus Lignin und Hydroxymethylfurfural (HMF) zur Herstellung nachhaltiger Spanplatten aus regionalen Holzresten. Damit entwickeln sie hochwertige biobasierte Materialien und optimieren die Wertschöpfungskette. Denn biobasierte Klebstoffe sind eine Schlüsseltechnologie zur Verbindung von Materialien und zur Schonung endlicher Ressourcen und ein vielversprechender Wachstumsmarkt.

Durch die Forschung am Fraunhofer WKI werden Spanplatten ökologischer und recyclingfähiger. Im Forschungsprojekt „LowEPanel“ testen Forschende am Fraunhofer WKI gemeinsam mit Partnern Klebstoffe auf Basis von Lignin und Hydroxymethylfurfural (HMF). Lignin ist ein natürlich vorkommendes Polymer, das in der Zellwand von Pflanzen vorkommt und ein Nebenprodukt der Papier- und Bioethanolproduktion darstellt.

Damit ist es eine wertvolle Ressource für die Herstellung biobasierter Materialien. HMF hat das Potenzial als Ausgangsstoff für die Synthese verschiedener chemischer Produkte, einschließlich Klebstoffen, eingesetzt zu werden. Es ist ein chemisches Zwischenprodukt, das durch Dehydratisierung von Zucker gewonnen wird. Mit ihrer Forschung erschließen die Forschenden hochwertige Einsatzbereiche für Reststoffe und nachwachsende Rohstoffe.

Formaldehydfreies Bio-Bindemittel

Das formaldehydfreie Bio-Bindemittel auf Basis von Lignin und Hydroxymethylfurfural verwenden die Forschenden zur Herstel-



Zutaten für die Spanplatte der Zukunft: Biogenes, formaldehydfreies Lignin-HMF-Kondensationsharz und alternative Holzarten aus klimaresilienten Mischwäldern. Foto: Fraunhofer WKI/Manuela Lingnau

lung von Spanplatten für Möbel und Trockenbau. Spanplatten sind ein nachhaltiges und günstiges Baumaterial. Sie werden aus regional verfügbaren Holzresten sowie recyceltem Altholz hergestellt. Der neuartige Klebstoff setzt kein gesundheitskritisches Formaldehyd frei und besteht vollständig aus biogenen Rohstoffen.

Die Forschungspartner testen außerdem, ob sich die Spanplatten mit alternativen Holzarten herstellen lassen, die aufgrund des Waldumbaus künftig in größerem Umfang zur Verfügung stehen. Im Vorgängerprojekt »AdLigno« wurden am Fraunhofer WKI bereits erfolgreich zu 100 Prozent biobasierte und formaldehydfreie Kondensationsharze auf Basis von Lignin und Hydroxymethylfurfural (HMF) im Labormaßstab entwickelt.

„In unserem neuen Projekt »LowEPanel« verfolgen wir mit unseren Partnern die Weiterentwicklung und Optimierung der Lignin-HMF-Harze für die Herstellung von Spanplatten. Die gesamte Wertschöpfungskette ist in das Vorhaben involviert: Vom Rohstofflieferanten über die Material- und Verfahrensentwicklung, die Harzsynthese im großen Maßstab und die Dosierertechnologie bis hin zum Spanplattenhersteller“, berichtet Dr. Steven Eschig, Fachbereichsleiter am Fraunhofer WKI. ■

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Holzforschung
Wilhelm-Klauditz-Institut WKI
Riedenkamp 3, 38108 Braunschweig
www.wki.fraunhofer.de



Bild 1 Farbige Lichtleisten an Türen oder Armaturenbrettern, leuchtende Zierleisten oder Markenlogos, beleuchtete Einstiegsleisten oder LED-Scheinwerfer sind nicht nur ästhetisch relevant, sondern häufig auch ein wichtiges Marketinginstrument, mit dem Firmen die Attraktivität, Sichtbarkeit und Lebensdauer ihrer Produkte gezielt erhöhen. Ein Klebstoff, der wie technicoll 9430-1 nach der Verarbeitung dauerhaft transparent bleibt, Risse und Materialverfärbungen verhindert, erspart den Firmen viel Ärger. Foto: Smarterpix / kittyfly

Zwei-Komponenten-Klebstoffe für optisch anspruchsvolle LED-Konstruktionen

Klebtechnik für transparente LED- und Lichtanwendungen

Transparente LED- und Lichtsysteme stellen hohe Anforderungen an Füge-technologien. Neben mechanischer Stabilität spielen optische Eigenschaften, Temperaturbeständigkeit und Materialverträglichkeit eine zentrale Rolle. Der Zwei-Komponenten-Klebstoff technicoll 9430-1 ist auf diese Anforderungen ausgelegt und wird insbesondere dort eingesetzt, wo klare Klebfugen, kontrollierte Aushärtung und prozesssichere Verarbeitung bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen gefordert sind.

Moderne LED-Anwendungen sind längst nicht mehr auf funktionale Beleuchtung beschränkt. In Displays, Leuchten, Möbeln oder Fahrzeuginterieurs übernehmen Lichtsysteme zunehmend auch gestalterische Aufgaben. Damit rücken die Klebfugen selbst in den Fokus: Sie dürfen weder sichtbar sein noch die Lichtwirkung beeinträchtigen. Gleichzeitig müssen sie mechanische

Belastungen aufnehmen und unterschiedliche Materialeigenschaften ausgleichen. Klebstoffe werden damit zu einem integralen Bestandteil des Gesamtdesigns und der technischen Funktion.

Der Zwei-Komponenten-Klebstoff technicoll 9430-1 der Ruderer Klebtechnik GmbH wird unter anderem bei der Montage von LED-Leuchtelementen, bei der Herstellung von Lampen, beim Fixieren transparenter Abdeckungen sowie beim Verguss von LED-Modulen eingesetzt. Seine transparente Aushärtung er-

möglicht es, Klebfugen auch in sichtbaren Bereichen einzusetzen, ohne das Erscheinungsbild der Bauteile zu verändern.

Materialverträglichkeit

Ein zentrales Anwendungsfeld des Klebstoffs liegt in der Verbindung transparenter thermoplastischer Kunststoffe wie Polymethylmethacrylat (PMMA) und Polycarbonat (PC). Diese Materialien sind in der Licht- und Werbetechnik weit

verbreitet, reagieren jedoch empfindlich auf ungeeignete Klebstoffsysteme. Lösemittelhaltige oder saure Produkte können Spannungsrisse, Trübungen oder langfristige Materialschädigungen verursachen.

technicoll 9430-1 ist so formuliert, dass solche Effekte vermieden werden. Der Klebstoff bleibt nach der Aushärtung klar und zeigt keine Vergilbung, auch bei längerer Lichteinwirkung. Dadurch bleibt die optische Qualität von Displays, Leuchten und Abdeckungen dauerhaft erhalten. Neben Kunststoffen haftet der Klebstoff auch auf Glas, Holz, Metallen sowie auf beschichteten Oberflächen, was den Einsatz in hybriden Konstruktionen erleichtert.

Verarbeitung, Aushärtung und Prozessintegration

In industriellen und handwerklichen Anwendungen spielt die Verarbeitbarkeit eine entscheidende Rolle. technicoll 9430-1 ist ein dickflüssiger Zwei-Komponenten-Klebstoff, der durch die chemische Reaktion seiner Komponenten aushärtet. Eine externe Energiezufuhr ist nicht erforderlich. Dies ermöglicht den Einsatz auch bei niedrigen Umgebungstemperaturen, etwa in unbeheizten Produktions- oder Montagebereichen. Die Verarbeitungszeit liegt bei etwa acht Minuten, was eine kontrollierte Positionierung der Bauteile erlaubt. Nach rund 45 Minuten wird eine ausreichende Anfangsfestigkeit erreicht, sodass die Bauteile weiterverarbeitet oder bewegt werden können. Die vollständige Endfestigkeit stellt sich innerhalb weniger Tage bei Raumtemperatur ein. Diese Eigenschaften unterstützen kurze Taktzeiten und lassen



Bild 2 Der glasklare Konstruktionsklebstoff technicoll 9430-1 ermöglicht sanftes LED-Licht in Hotelfluren, strahlende Leuchtreklamen sowie sicheren Halt für Scheinwerfer und Leuchteleiten. So entstehen stilvolle, langlebige Lichtlösungen mit höchster Zuverlässigkeit. Foto: Ruderer

sich gut in bestehende Produktionsprozesse integrieren.

Fahrzeugbau

In Innenräumen wie Hotels, Restaurants oder Bars werden LED-Systeme häufig in Möbel, Theken, Wand- oder Deckenelemente integriert. Neben der optischen Unauffälligkeit der Klebfugen sind hier geruchsarme Verarbeitung und eine saubere Applikation wichtig. technicoll 9430-1 ist geruchsneutral und fugenfüllend, was den Einsatz in sensiblen Bereichen erleichtert. Gleichzeitig kann der Klebstoff mechanische und thermische Ausdehnungen unterschiedlicher Materialien ausgleichen. Auch im Fahrzeugbau

nimmt der Einsatz beleuchteter Bauteile zu. Dazu zählen unter anderem Einstiegsleisten, Zier- und Designelemente, Markenlogos oder Lichtleisten im Innenraum. In diesen Anwendungen wirken wechselnde Temperaturen, Vibrationen und mechanische Belastungen auf die Klebeverbindung ein. Der Klebstoff bleibt unter diesen Bedingungen stabil und transparent. Auf den häufig eingesetzten Kunststoffen PMMA und PC entstehen blasenfreie, optisch unauffällige Klebfugen.

Einsatz im Möbel-, Vitrinen- und Spezialbau

Weitere Anwendungsfelder finden sich im Möbel- und Vitrinenbau, im Messebau sowie im Bootsbaubereich. Dort wird technicoll 9430-1 beispielsweise zur Montage von LED-Elementen, zum Verkleben transparenter Abdeckungen oder zum Abdichten von Acryl- und Kunststoffbauteilen eingesetzt. Die Aushärtung bei Raumtemperatur erleichtert die Verarbeitung auch bei größeren oder komplexen Bauteilen. Durch die Kombination aus transparenter Optik, materialschonender Formulierung und definierter Aushärtung eignet sich der Klebstoff für Anwendungen, bei denen sowohl gestalterische als auch konstruktive Anforderungen erfüllt werden müssen. Anwender aus Industrie und Handwerk erhalten damit eine FügeLösung, die sich in unterschiedliche technische und gestalterische Konzepte integrieren lässt. ■

ÜBER DIE RUDERER KLEBTECHNIK GMBH

Die Ruderer Klebtechnik GmbH mit Sitz in Zorneding bei München ist ein inhabergeführtes Unternehmen und Anbieter von Industrieklebstoffen für Anwendungen in Handwerk und Industrie. Das Unternehmen ist sowohl Händler als auch Hersteller und verfügt über ein breites Sortiment an Klebstoffsystemen unterschiedlicher Hersteller sowie über die eigene Marke technicoll.

Neben der Lieferung von Klebstoffen bietet RUDERER technische Beratung, anwendungsbezogene Unterstützung und Versuchsleistungen im eigenen Technikum, darunter Testverklebungen und Materialprüfungen. Ergänzend übernimmt das Unternehmen bei Bedarf auch Klebearbeiten im Lohn. Das Angebot richtet sich an verschiedene Industriebranchen und handwerkliche Anwender und wird durch einen digitalen Vertriebskanal ergänzt.

Beschichtungstechnologie für die digitale Dentalfertigung

Diamantbeschichtungen als Schlüssel zur wirtschaftlichen Zirkonoxid-Bearbeitung

Die industrielle Fertigung von Zahnersatz aus hochabrasivem Zirkonoxid stellt extreme Anforderungen an Werkzeuge und Prozesse. Erst leistungsfähige Diamant-Beschichtungen ermöglichen es, filigrane CAD/CAM-Fräswerkzeuge prozesssicher, verschleißarm und mit konstant hoher Präzision einzusetzen. Moderne Beschichtungstechnologie bildet damit die entscheidende Brücke zwischen digitaler Dentalfertigung, reproduzierbarer Qualität und wirtschaftlicher Serienproduktion – und eröffnet Werkzeugherstellern neue, wachstumsstarke Marktchancen.

Die Nachfrage ist riesig: Allein in Deutschland benötigen rund acht Millionen Menschen jährlich Zahnersatz; mit der steigenden Lebenserwartung der Bevölkerung wird auch diese Zahl weiter anwachsen. Global sind die Ausichten ebenfalls „zukunftssicher“: Mit dem steigenden Wohlstand geht in allen wirtschaftlich wachsenden Weltregionen der Wunsch nach ästhetischen Zähnen einher. Der Markt für makellos gefertigten Zahnersatz wächst infolgedessen stetig und zuverlässig mit.

Ein Wandel macht sich bei der Herstellung des Zahnersatzes bemerkbar. Die Zeichen stehen auf Effizienz: Was lange Zeit nahezu kunstfertige Handarbeit im Dentallabor war, wird heute automatisiert gefertigt. Zahnlabore, aber vor allem Zahnarztpraxen selbst setzen zunehmend auf CAD/CAM-Fräseinheiten, um Kronen, Brücken und Inlays aus Zirkonoxid-Rohlingen passgenau herzustellen. In einem digitalisierten Verfahren wird das Gebiss gescannt und der Datensatz direkt in ein Fräsprogramm überführt. Anschließend wird aus dem vorgefertigten Rohling, dem sogenannten Blank, der Zahnersatz präzise herausgearbeitet – schnell, effizient und in höchster Qualität.

Der eingesetzte keramische Werkstoff Zirkonoxid überzeugt durch Langlebigkeit, hervorragende Ästhetik und ausgezeichnete Biokompatibilität. Jedoch ist er auch sehr abrasiv und damit höchst ver-



Bild 1 Bearbeitung von Zirkonoxid-Rohlingen zur Herstellung von Zahnersatz: Für seine bis zu 0,3 mm filigranen Mikro-Werkzeuge setzt der führende taiwanische Werkzeughersteller IDI Precision Machinery Ltd. ausnahmslos auf Diamant-Beschichtungen von CemeCon. Foto: IDI_Precision_Machinery_Ltd

schleißintensiv für die Fräswerkzeuge. Konventionelle Fräser stoßen hier schnell an ihre Grenzen. Nur diamantbeschichtete Werkzeuge gewährleisten eine prozesssichere und wirtschaftliche Bearbeitung. Sie sind in diesem Anwendungsfeld die einzige technisch überzeugende Lösung.

Vorsprung durch Hochleistungs-Beschichtungen

Für Werkzeughersteller, die bereits Diamant-Beschichtungen für ihre Qualitäts-

werkzeuge zur Bearbeitung von Graphit nutzen, eröffnet sich in der Dentaltechnik entsprechend eine große Marktchance. Denn sie können ihr Know-how zur Herstellung von Hartmetall-Fräsern in Dimensionen von wenigen Zehntelmillimetern übertragen.

Auch der anspruchsvolle Markt der Dentaltechnik kann mit Hochleistungs-Beschichtungen gut bedient werden. In puncto Werkzeuggeometrien, Materialbeanspruchung und Dimensionierung sind die Anforderungen der Graphit- und Zir-



Bild 2 Zahnersatz in Rekordzeit – direkt aus der CAD/CAM-Fräseinheit statt aufwendig im Labor gefertigt: Die aktuellen Entwicklungen in der Dentaltechnik eröffnen innovative Möglichkeiten. Foto: IDI_Precision_Machinery_Ltd

konoxid-Bearbeitung vergleichbar. Für Partner der Beschichtungsexperten der CemeCon AG, Würselen, ist der Schritt in diesen stetig wachsenden Zukunftsmarkt also klein. Der Wissenstransfer in die neue Branche ist schnell und einfach umsetzbar.

In der Praxis bewährt: Diamantschichten für den Dentalmarkt

Wie lohnend der Schritt in den Dentalmarkt sein kann, zeigt das Beispiel des taiwanesischen Werkzeugherstellers IDI Precision Machinery Ltd. Als einer der führenden Hersteller von CAD/CAM-Fräswerkzeugen für Formenbau und Dentaltechnik beliefert er neben dem asiatischen Markt vor allem die USA. Im Dentalbereich umfasst das IDI-Lieferprogramm Fräswerkzeuge in Durchmessern von 3 bis 0,3 mm, jeweils in passgenauen

Varianten für die Fräseinheiten der gängigen Branchenanbieter.

Bei der Diamant-Beschichtung seiner Hochleistungswerkzeuge setzt IDI vollständig auf Qualität aus dem Hause CemeCon. IDI nutzt konsequent für alle Werkzeuge den Service des weltweit größten Beschichtungszentrums in Würselen und erhält so eine sehr gute Beschichtungsqualität. Mit einer abgestimmten Logistik meistern die Partner die Transportwege, die die Werkzeuge aus Taichung nach Deutschland zurücklegen. Die gleichmäßige und homogene Diamantbeschichtung von CemeCon auf den filigranen Werkzeugen trägt zu stabilen Fräsprozessen und reproduzierbaren Bearbeitungsergebnissen mit engen Toleranzen bei. IDI nutzt diese Eigenschaften, um seinen Kunden Werkzeuge für die präzise Bearbeitung von Zirkonoxid bereitzustellen. Zahnärzte und Zahntechniker profitieren dabei von maßhaltigen Zerspa-

nungsergebnissen sowie einer verlässlichen Prozessführung bei der täglichen Anwendung.

Anwendungsspezifisch beschichtet CemeCon sogar Werkzeuge mit nur 0,2 mm Durchmesser – hier spielt der Weltmarktführer für Diamant-Beschichtungen seine mehr als zwei Jahrzehnte Erfahrung in der Entwicklung dieser Technologie auch im Sinne der spezifischsten Anforderungen aus.

Mit Mikro-Werkzeugen groß ins Geschäft kommen

CemeCon unterstützt seine Kunden auch bei der Erschließung neuer und wachsender Anwendungsfelder mit geeigneten Beschichtungslösungen. „Der Dentalbereich ist weit mehr als ein Nischenmarkt – er ist ein wachstumsstarker Technologietreiber, der industrielles Denken mit medizinischem Anspruch verbindet“, fasst Gerhard Hagedorn, CemeCon Produktmanager, Diamond, zusammen. „Für Werkzeughersteller mit Erfahrung im Mini- und Mikrobereich für die Graphitbearbeitung bietet sich hier die Möglichkeit, ihre Kompetenz auf einen weiteren, margenstarken Absatzmarkt zu übertragen – ohne dass sie das Rad neu erfinden müssen.“ Auch „Neueinsteigern“ liefert CemeCon gerne die entscheidenden Schichtwerkstoffe für die Bearbeitung des hoch abrasiven Materials. Eine gute Ausgangslage für den Erfolg schaffen passende Werkzeuge mit der richtigen Diamant-Beschichtung in jedem Fall. ■

ÜBER IDI PRECISION MACHINERY LTD.:

IDI Tools (IDI Precision Machinery Ltd.) mit Sitz in Taichung, Taiwan, ist ein führender Hersteller von Präzisionswerkzeugen für die Formenbau- und Dentalindustrie. Das Unternehmen bietet ein umfassendes Sortiment hochwertiger Fräswerkzeuge, die speziell für die Bearbeitung von Graphit, Zirkoniumdioxid, Titan, gehärtetem Stahl und Edelstahl entwickelt wurden. IDI steht für eine ingenieurorientierte Unternehmenskultur und höchste Fertigungsstandards. Dank modernster Schleiftechnologien und strenger Prozesskontrollen werden Werkzeugprofile mit Toleranzen von bis zu $\pm 0,002$ mm realisiert. Weltweit vertrauen Kunden auf die innovativen Lösungen von IDI, selbst bei anspruchsvollsten Anwendungen.



Bild 1 Der Einsatz von Edelstahl Rostfrei bei Tablettieranlagen trägt entscheidend zur Qualität, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit der Produkte bei. Foto: L.B. Bohle

Edelstahl Rostfrei für Tablettieranlagen

Höchste Hygiene

Tabletten zählen zu den am weitesten verbreiteten Darreichungsformen von Medikamenten, Nutrazeutika und Nahrungsergänzungsmitteln. An ihre Herstellung werden höchste Ansprüche gestellt: Gleichbleibend hohe Qualität und die Erfüllung aller Vorschriften für Prozess- und Lebensmittelsicherheit gilt es mit einer ressourcenschonenden, nachhaltigen Produktion und Kosteneffizienz zu vereinbaren. Tablettieranlagen, die flexibel für Batch- und Hochleistungsproduktion eingesetzt werden können, automatisieren und kontrollieren den komplexen Prozess vom Pulver bis zur fertigen Tablette. Herzstück dieser Produktionslinien sind Tablettenpressen, denn sie tragen entscheidend zur Qualität, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit der Produkte bei. Für alle produktberührten Bauteile in den Anlagen ist hochwertiger Edelstahl Rostfrei zwingend vorgeschrieben.

Unterschiedliche Tablettenarten – Ein- oder Mehrschicht-, Mantelkern-, Brause- oder Lutschtabletten – sowie vielfältige Tablettenformen erfordern maßgeschneiderte Anlagenkonzepte. Die Bandbreite der Tablet-

tenpressen reicht von Labor-Exzenterpressen für erste Machbarkeitsstudien über F&ERundlaufpressen, Standardeinfach- und Mehrfachrundläufer bis hin zu Hochleistungs-Doppelrundlaufpressen.

Vollintegrierte Anlagen in geschlossener Bauweise mit Containment-Ausstat-

tung für hochaktive oder toxische Wirkstoffe umfassen den gesamten Produktionsprozess von Materialzufuhr, Dosierung, Granulierung über Tablettierung und Qualitätskontrolle bis hin zur Verpackung in Blister oder Dosen sowie Reinigung, Umrüstung und Wartung aller Anlagenkomponenten.

Zu den Grundelementen jeder Tablettenpresse gehören Trichter, Füllschuh, Matrize und Stempel. Neben dem Arzneistoff enthalten Tabletten meist weitere Hilfsstoffe wie Binde-, Schmier- und Fließregulierungsmittel. Ein ausgewogenes Zusammenspiel der verschiedenen Bestandteile ist entscheidend für die Fließeigenschaften des Materials. Granulate haben im Vergleich zu Pulvern bessere Fließeigenschaften und können deshalb effektiver dosiert werden. Verschiedene Verfahren wie Wirbelschicht-, Vertikal-, Eintopf- oder Doppelschneckengranulation werden industriell genutzt, um Granulate für Tabletten zu erzeugen. Eintopfgranulierer vereinen drei Prozessschritte in einem Behälter: Mischen, Vertikal- oder High-Shear-Feuchtgranulation sowie Trocknen.

Bis zu einer Million Tabletten pro Stunde

Über den Trichter wird die Pulver- oder Granulatmischung in den Füllschuh eingefüllt, der sie in Öffnungen, sogenannte Matrizen, die die spätere Tablettenform bestimmen, in einem rotierenden Matrizenrad verteilt.

Matrizensegmente können den Rotor ersetzen, um bei gleicher Pressengröße deutlich mehr Tablettenstationen zu ermöglichen. In den Matrizen verdichten Ober- und Unterstempel das Material mit zunehmender Kraft zur endgültigen Tablettenform.

Häufig werden Tabletten hier auch mit einer Bruchkerbe und einem Logo versehen. Sensoren messen die Presskraft und gewährleisten durch Überwachung von Gewicht, Härte, Dicke und Bruchfestigkeit jeder einzelnen Tablette die gleichbleibende Qualität.

Einige Pressenmodelle begegnen den sehr hohen Belastungen der Presswerkzeuge mit Schwerlastprofilköpfen, um den Verschleiß zu minimieren. Die fertige Tablette wird von dem Unterstempel nach oben aus der Matrize gedrückt und von einem Schieber in einen Auffangbehälter oder auf ein Förderband transportiert. Hochleistungspressen verarbeiten mit wechselnden Matrizenscheiben alle Granulatarten und schwerfließende Produkte in hoher Geschwindigkeit. Pro Stunde können sie eine Million und mehr Einschichttabletten in allen Formen oder bis 500 000 Zweischichttabletten produzieren.



Bild 2 Edelstahl Rostfrei ist aufgrund seiner Korrosionsbeständigkeit und guten Verarbeitungseigenschaften ein Standardwerkstoff für zahlreiche Bauteile in Tabletieranlagen. Foto: WZV/ERWEKA



Bild 3 In integrierten Anlagenkonzepten für die Tablettenherstellung bieten produktberührte Komponenten aus Edelstahl Rostfrei prozessübergreifend die notwendige Produktsicherheit. Foto: L.B. Bohle

Schutz vor Emissionen durch Containment-Ausstattung

Zur erforderlichen Prozesssicherheit zählt dabei auch der Schutz von Menschen und Umwelt vor Emissionen. Produktwechsel erfordern zudem, dass die Pressanlage vor jedem Wechsel grundlegend gereinigt wird, um Kreuzkontamination zu vermeiden.

Steigende Anforderungen an Wirkstoffsicherheit und Prozesskontrolle spiegeln sich bei der Tablettenproduktion in unterschiedlichen Containment-Ausstattungen wider.

Moderne Tablettenpressen sind bereits in der Basisausstattung auf Staubdichtheit ausgelegt und arbeiten mit Unterdruck, um den Austritt von Wirkstoffen zu verhindern. Bei der Verarbeitung hochaktiver und toxischer Wirkstoffe ist eine Anlage in geschlossener Bauweise mit vollständiger Containment-Ausstattung erforderlich. Zur Klassifizierung der Gefahrenstufe der eingesetzten Stoffe dient die fünfstufige Containmentpyramide der International Society for Pharmaceutical Engineering (ISPE), das Occupational Exposure Band (OEB). In der Praxis gilt für Produkte ab Stufe OEB 3 eine vollständig automatisierte Tablettenproduktion von



Bild 4 Granulationssysteme mit Komponenten aus Edelstahl sorgen für eine effiziente Granulation. Foto: L.B. Bohle



Bild 5 In Tablettieranlagen bieten Komponenten aus Edelstahl Rostfrei –wie diese Messmaschine –zuverlässigen Schutz vor Emissionen und Kreuzkontamination. Foto: FETTE Compacting

der Anlagenbefüllung bis zum staubarmen Tablettenauslauf als anzustrebender Mindeststandard. Handschuheingriffe, Transfersysteme mit lückenloser Abdichtung sowie effiziente Technologien zur Trocken- und Nassreinigung ergänzen das Angebot an Containment-Lösungen. Ab OEB 4 verringern Wash-in-Place (WIP)-Verfahren die Belastung der Maschinenbediener bei der Reinigung erheblich. Bei Gefahrenklasse OEB 5 sind höchste Sicherheitsanforderungen in der Produktion und zum Schutz für das Bedienpersonal durch eine entsprechend komplexe High-

Containment Ausstattung der gesamten Anlage zu gewährleisten: Dazu zählen ein geschlossenes Materialhandling durch vollständig gekapselte, integrierte Produktionslinien von der vollautomatischen Produktzufuhr über Tablettierung, Inprozess-Qualitätskontrolle, prozessumfassende Kontrolle der Staubemissionen, Airmanagement sowie Wash-in-Place-Technologie.

Für hochaktive Arzneistoffe, deren Nachfrage durch neue Therapien beispielsweise in der Onkologie schnell steigt, gilt zudem die kontinuierliche Di-

rektverpressung in einem geschlossenen Anlagenverbund als zukunftsweisende Lösung.

Prozessübergreifender Einsatz von Edelstahl

Angesichts strikter Vorgaben an Hygiene und Reinheit der Produktionsumgebung nach ISO oder Good Manufacturing Practice (GMP) ist Edelstahl Rostfrei bei der Tablettenproduktion für alle produktberührten Bauteile einer Produktionslinie unverzichtbar. Hochwertiger nichtrostender Stahl wie die Güten 1.4404 und 1.4435 erfüllt durch seine glatte, abriebfeste und leicht zu reinigende Oberfläche strengste hygienische Voraussetzungen. Die robuste Oberflächenqualität des inneren Werkstoffs hält korrosiven Umgebungen, hohen Drücken und Temperaturen dauerhaft stand. Insbesondere der austenitische Edelstahl 1.4404 mit einem 2 bis 2,5 prozentigen Molybdän-Anteil ist aufgrund seiner Korrosionsbeständigkeit und guten Verarbeitungseigenschaften ein Standardwerkstoff für zahlreiche Bauteile integrierter Produktionslinien. Elektropolierte Oberflächen mit definierter Rauheit verhindern Partikelanhaftungen, erhöhen die Korrosionsbeständigkeit noch weiter und widerstehen mechanischer Belastung.

Entsprechend ausgelegte Edelstahlkomponenten in Tablettieranlagen sind uneingeschränkt WIP-fähig, können also beliebig oft rückstandslos gereinigt werden. In integrierten Anlagenkonzepten für die Tablettenherstellung bieten produktberührte Komponenten aus Edelstahl Rostfrei prozessübergreifend die notwendige Produktsicherheit sowie zuverlässigen Schutz vor Emissionen und Kreuzkontamination. Vom IBC Behälter für Rohstoff- und Produktlagerung, über Granulator, Mischer, Trichter, Matrize und Stempelköpfen bis hin zu Förderband, Probenahmesystem, Abfülleinrichtung mit Metalldetektor, Sortier- und Zählanlagen ist hochwertiger nichtrostender Stahl in den Anlagen gängige Praxis. Aber auch in den Filtern von Entstaubungsanlagen und Luftfiltern, in Reinigungssystemen, für Gehäuse von Sensoren und Steuerung sowie Anlagenverkleidungen ist Edelstahl Rostfrei der Garant für nachhaltig höchste Hygiene und zuverlässige Belastbarkeit im 24/7-Betrieb. ■

Evaluierung KI-basierter Algorithmen mittels synthetischer Daten für automatisiertes Fahren

Bewertung der Einschränkungen und Potenziale synthetischer Daten

Mit der zunehmenden Komplexität von Fahrzeugkomponenten, vorangetrieben durch die rasante Entwicklung fortschrittlicher Fahrerassistenzsysteme, kommen Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI), insbesondere aus dem Teilbereich des Deep-Learning (DL) in verschiedenen Verkehrsanwendungen zum Einsatz. Ziel ist es, diese steigende Komplexität zu bewältigen und ein besseres Verständnis der Fahrzeugumgebung zu erhalten. Die Leistungsfähigkeit von DL-basierten Wahrnehmungsalgorithmen wie der Objekterkennung und -verfolgung und der semantischen Segmentierung, hängt maßgeblich von der Qualität, Vielfalt und Repräsentativität der Trainingsdaten ab. Werden KI-Algorithmen nicht mit ausreichend vielfältigen und repräsentativen Daten trainiert, kann dies, insbesondere in sicherheitskritischen Anwendungen wie dem autonomen Fahren, zu fehlerhaften Entscheidungen führen und somit potenzielle Risiken im Straßenverkehr erhöhen. Die Bereitstellung der benötigten Trainingsdaten kann entweder durch reale Fahrten oder durch Simulationen erfolgen. In der Regel können sich die durch Simulationen erzeugten Daten nicht ohne Weiteres auf die reale Welt übertragen lassen, was auch als Domänenlücke bezeichnet wird. In unserem Fachgebiet untersuchen wir im Rahmen eines Industrieprojekts die Domänen-

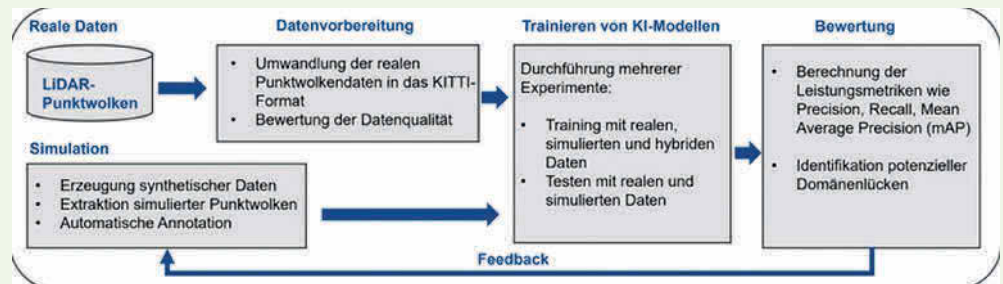


Bild 1 Pipeline zur Evaluierung synthetischer Daten. Grafik: TU Berlin

lücken zwischen synthetischen und realen Datensätzen zur Evaluierung KI-basierter Wahrnehmungsalgorithmen. Unser Ziel ist es, anhand eines Lidar-basierten Objekterkennungsmodells eine Methodologie zur Bewertung synthetischer und realer Daten zu entwickeln.

Datenbereitstellung für KI

Im Benchmarking-Ansatz werden Sensoren wie Kameras, Lidar und Radar an einem Versuchsfahrzeug angebracht, das anschließend unterschiedliche Verkehrsszenarien durchfährt und Daten sammelt. Reale Datensätze wie KITTI [1] und nuScenes [2] bieten den Vorteil, die reale Welt mit echten Sensorsignalen präzise abzubilden. Sie unterliegen jedoch Einschränkungen hinsichtlich ihrer Vielfalt und der Abdeckung sicherheitskritischer Szenarien. In [3] wird statistisch gezeigt, dass autonome Fahrzeuge rund 440 Mio. Kilometer zurücklegen müssten, um mit einer Sicherheit von 95 % nachzuweisen, dass sie mindestens ebenso sicher sind, wie menschliche Fahrer. Dieser Testumfang durch reale Fahrten ist aus zeitlichen und wirtschaftlichen Gründen nicht praktikabel. Selbst wenn reale Datensätze verfügbar wären,

die alle kritischen Verkehrsszenarien abdecken, müsste die Annotation der Daten manuell erfolgen. Dies stellt einen arbeitsintensiven und fehleranfälligen Prozess dar, der den Gesamtaufwand erheblich erhöht.

Um diese Herausforderungen zu bewältigen und KI-basierte Wahrnehmungsalgorithmen validieren zu können, wird auf synthetisch erzeugte Daten zurückgegriffen.

Potenziale synthetischer Daten

Synthetische Daten können entweder durch Simulationen oder mithilfe von GANs (Generative Adversarial Networks) generiert werden. Weil für den Einsatz von GANs ebenfalls reale Daten erforderlich sind, liegt der Fokus unseres Ansatzes zunächst auf der Nutzung von Simulationen zur Erzeugung synthetischer Daten. Simulationen bieten folgende Vorteile:

- Gezielte Nachbildung realer Szenarien unter kontrollierten Bedingungen, insbesondere dann, wenn reale Daten nicht alle sicherheitskritischen oder seltenen Fälle (corner cases) abdecken.

- Schnelles und kosteneffizientes Testen von KI-Algorithmen im Entwicklungsprozess.
- Frühzeitige Identifikation von Schwächen der KI-Algorithmen in einer sicheren und risikofreien Testumgebung.
- Automatische Annotation von Daten durch die Kenntnis der Objekteigenschaften innerhalb der Simulation.
- Wiederholbares Testen von KI unter variierenden Umgebungsbedingungen zur Überprüfung von Robustheit und Generalisierungsfähigkeit. Durch die gezielte Erzeugung synthetischer Daten in Simulationen kann somit ein effizienter und umfassender Validierungsprozess für KI-basierte Funktionen sichergestellt werden.

Einschränkungen synthetischer Daten

Simulierte Sensormodelle weisen einerseits nicht dieselben Rauschcharakteristiken und Ausfallmechanismen wie reale Sensoren auf [4]. Andererseits können sich synthetische Daten hinsichtlich des Erscheinungsbildes und des Inhalts der Szenarien erheblich von der realen Welt unterscheiden [5]. Das Erscheinungsbild bezieht sich auf Aspekte wie Farbe, Textur, Form, Beleuch-

tung von Objekten innerhalb der Simulation, die durch den Grad des Fotorealismus der verwendeten Simulationsumgebung beeinflusst werden können. Die Verbesserung des Fotorealismus in Simulationen durch den Einsatz von KI-Methoden ist noch Gegenstand aktueller Forschung. Der Inhalt einer Szene wird hingegen maßgeblich durch Anzahl, Position und Orientierung der enthaltenen Objekte bestimmt. Reale Datensätze enthalten oft abgeschnittene und verdeckte Objekte, was vor allem auf komplexe und dynamische Verkehrssituationen zurückzuführen ist. Solche Fälle lassen sich prinzipiell auch in Simulationen nachbilden, erfordern jedoch eine gezielte Generierung von Szenarien und einen zusätzlichen Aufwand. Diese Unterschiede führen zu Domänenlücken, die eine Validierung von KI-Algorithmen ausschließlich mit synthetischen Daten erheblich erschweren.

Bewertungsrahmen: 3D-Objekterkennung

Im Rahmen des Projekts wird eine vergleichende Analyse durchgeführt, um zu bewerten, inwieweit synthetische Daten reale Daten in der Lidar-basierenden 3D-Objekterkennung sinnvoll ergänzen oder vollständig ersetzen können.

Zu diesem Zweck wurde zunächst eine Literaturrecherche durchgeführt, um einen geeigneten 3D-Objekterkennungsalgorithmus für die anschließende Analyse auszuwählen. Die identifizierten Algorithmen wurden systematisch anhand ihrer Netzwerkarchitektur, der Eingabetypen sowie der eingesetzten Sensorkonfigurationen kategorisiert und hinsichtlich ihrer Stärken und Schwächen in Bezug auf Robustheit und

Inferenzgeschwindigkeit bewertet. Auf Basis dieser Analyse wurden zwei Modelle ausgewählt, die auf dem KITTI-Datensatz trainiert und evaluiert wurden: SECOND (Sparse Embedded Convolutional Detection) und PV-RCNN (Point-Voxel Region-based Convolutional Neural Network). Beide Architekturen weisen eine hohe Erkennungsleistung auf dem 3D-KITTI-Benchmark auf.

Im Anschluss an die Auswahl geeigneter Modelle wurde die Pipeline zur Evaluierung synthetischer Daten erstellt (Bild 1). Ausgehend von einer virtuellen Simulationsumgebung werden verschiedene Fahrscenarien innerhalb eines definierten Operational Design Domain (ODD) mithilfe standardisierter Formate zur Szenarienbeschreibung erstellt. Dabei werden beispielhaft Szenarien wie Nachtfahrten, Regenwetterbedingungen oder Unfallsituationen ausgewählt, um kritische Verkehrssituationen abzudecken. Die dabei generierten Daten werden anschließend in Form von Punktwolken aus simulierten Lidar-Modellen extrahiert, die von unserem Projektpartner implementiert wurden. Um die Kompatibilität mit dem ausgewählten Wahrnehmungsmodell sicherzustellen, werden sowohl die simulierten als auch die realen Daten in einem einheitlichen Datenformat aufbereitet und annotiert. Die Annotationen werden anschließend validiert und für das Training der ausgewählten KI-Modelle verwendet. Im Trainingsprozess werden mehrere Experimente durchgeführt, um die Qualität und die Ersatzbarkeit synthetischer Daten zu bewerten. Dazu zählt das Trainieren und Testen der KI-Modelle unter Verwendung

realer, simulierter und hybrider Datensätzen. Durch die gezielte Zuordnung der Datensätze zu unterschiedlichen Szenarien lässt sich untersuchen, inwieweit das Modell gut auf synthetische Daten generalisieren kann und ob diese allein für das Training verwendet werden können. In einem weiteren Experiment ist es das Ziel, das Modell ausschließlich mit realen Daten zu trainieren und es anschließend mit synthetischen Daten zu testen, die gezielt corner cases enthalten. Dadurch soll untersucht werden, ob synthetische Daten zur Bewertung der Robustheit der KI-Modelle geeignet sind. Zur Bewertung der Modellleistung werden die Leistungsmetriken wie Precision, Recall, mAP, werden als Key Performance Indicators (KPIs) verwendet. Diese Kennzahlen ermöglichen eine differenzierte Analyse potenzieller Domänenunterschiede zwischen realen und synthetischen Daten, indem sie aufzeigen, in welchen Szenarien oder unter welchen Bedingungen das Modell signifikant von der erwarteten Leistung abweicht.

Ausblick

Die Nutzung synthetischer Daten gilt als vielversprechender Ansatz, um die Sicherheit und Vertrauenswürdigkeit für KI-basierte Wahrnehmungsalgorithmen zu stärken. Die zentrale Herausforderung besteht jedoch weiterhin darin, die Domänenlücken zwischen synthetischen und realen Daten, insbesondere im Hinblick auf das visuelle Erscheinungsbild und die inhaltliche Komplexität zu überbrücken. Das Projekt verfolgt daher weiterhin das Ziel, diese Lücken systematisch zu analysieren und zu verringern, indem

sowohl die Vielfalt synthetischer Datensätze als auch ihre Eignung zur realistischen Darstellung komplexer Umgebungsbedingungen verbessert wird. Langfristig soll dadurch die Glaubwürdigkeit virtueller Validierungsmethoden für KI-Algorithmen erhöht werden.

Literatur:

- [1] Geiger, A., Lenz, P., & Urtasun, R. (2012). Are we ready for autonomous driving? the kitti vision benchmark suite. In 2012 IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 3354–3361). IEEE.
- [2] Caesar, H., Bankiti, V., Lang, A. H., Vora, S., Liong, V. E., Xu, Q., ... & Beijbom, O. (2020). nuscenes: A multimodal dataset for autonomous driving. In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition (pp. 11621–11631).
- [3] Kalra, N., & Paddock, S. M. (2016). Driving to safety: How many miles of driving would it take to demonstrate autonomous vehicle reliability?. Transportation research part A: policy and practice, 94, 182–193.
- [4] Talwar, D., Guruswamy, S., Ravipati, N., & Eirinaki, M. (2020). Evaluating validity of synthetic data in perception tasks for autonomous vehicles. In 2020 IEEE International Conference On Artificial Intelligence Testing (AITest) (pp. 73–80). IEEE.
- [5] Prakash, A., Debnath, S., Lafleche, J. F., Cameracci, E., Birchfield, S., & Law, M. T. (2021). Self-supervised real-to-sim scene generation. In Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (pp. 16044–16054).

Prof. Dr.-Ing. **Rainer Stark**
Esra Demircioglu, M. Sc.
Iman Sonji, M. Sc.

Fachgebiet Industrielle Informatik
 onstechnik
 Technische Universität Berlin

Wertgetriebene, modellbasierte Entwicklung Digitaler Zwillinge unter Berücksichtigung ökonomischer und technischer Aspekte

M. Fett, J. Trauer, S. Schweigert-Recksiek, R. Breimann, M. Krastel, E. Kirchner

INHALT Innovative Technologien wie Digitale Zwillinge können eine Vielzahl an Potentialen erfüllen, sind aber mitunter ein erheblicher Aufwand in der Entwicklung. Um das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand frühzeitig beurteilen zu können und angestrebte Anwendungsfälle zu priorisieren, wird im Rahmen dieses Beitrags ein Ansatz präsentiert, welcher ökonomische Aspekte mit technischen kombiniert. So können Anwendungsfälle wertgetrieben und modellbasiert konzeptioniert und entwickelt werden.

1 Einleitung

Digitale Zwillinge können in der Praxis genutzt werden, um eine Vielzahl an verschiedenen Anwendungsfällen zu erfüllen, beispielsweise die Nutzung als Soft-Sensoren (Virtuelle Sensoren, die basierend auf Simulationsmodellen Sensordaten liefern können. Wird in der Regel an schwer messbaren Bereichen sowie zur Kostenreduktion eingesetzt), Zustandsüberwachung mit präventiver Wartung oder die Nachverfolgung des CO₂-Fußabdrucks durch einen Nachhaltigkeits-Zwilling. Der Nutzen Digitaler Zwillinge ist dabei häufig schwer zu beschreiben, da Mehrwert oft nur indirekt geschaffen wird [1, 2]. Darüber hinaus ist die konkrete Umsetzung entsprechender Digitaler Zwillinge mitunter sehr aufwändig. Der jeweilige Implementierungsaufwand ist dabei einerseits abhängig vom physischen System selbst, andererseits aber insbesondere von den individuellen Anwendungsfällen des Digitalen Zwillinges. Daher ist es sinnvoll, frühzeitig Aufwand und Nutzen abzuschätzen, um die angestrebten Ziele des Digitalen Zwillinges und die hierfür umzusetzenden Pläne kritisch hinterfragen und priorisieren zu können. Im Umkehrschluss können mit einer Aufwandsabschätzung auch low-hanging Fruits identifiziert werden.

Im Rahmen dieses Beitrags wird ein Ansatz vorgestellt, welcher ökonomische und technische Faktoren berücksichtigt und es so erlaubt, den Implementierungsaufwand sowie den Nutzen individueller Anwendungsfälle Digitaler Zwillinge frühzeitig abzuschätzen. Dieser baut auf zwei bestehenden Ansätzen auf. Zum einen auf dem modifizierten V-Modell für die technische Umsetzung Digitaler Zwillinge [3], welches am pmd der TU Darmstadt erarbeitet wurde und mittlerweile bei der F&B-Engineering GmbH zum Einsatz kommt. Zum anderen wird auf der Digital Twin Toolbox for Implementation and Design (DITTID) [4] aufgebaut, diese wurde am LPL der TU München erarbeitet und ist heute Bestandteil des Portfolios der :em engineering methods AG. Durch die Kombination beider Ansätze wird ein ganzheitlicher Ansatz geboten, der eine wertgetriebene, modellbasierte Entwicklung Digitaler Zwillinge ermöglicht. Abschließend wird

ABSTRACT Digital Twins can fulfill a multitude of potentials, but can be a considerable effort to develop. In order to be able to assess the ratio of benefit to effort at an early stage and to prioritize intended use cases, this article presents an approach that can be used to estimate the use case-specific implementation effort of a Digital Twin. Thus, use cases can be conceptualized and developed in a value-driven and model-based manner.

der Ansatz anhand eines realitätsnahen Beispiels angewandt und verdeutlicht.

2 Stand der Technik

In diesem Abschnitt werden die für diesen Beitrag relevanten Grundlagen präsentiert. Dies beinhaltet die Grundlagen Digitaler Zwillinge, das V-Modell für die technische Umsetzung Digitaler Zwillinge, sowie die Digital Twin Toolbox for Implementation and Design (DITTID).

2.1 Grundlagen Digitaler Zwillinge

Ein Digitaler Zwilling ist „[...] ein dynamisches und domänenübergreifendes virtuelles Abbild eines physischen Systems, welches mit diesem zum bidirektionalen Datenaustausch verbunden ist. Der Digitale Zwilling entsteht durch die gezielte, nahtlose und durchgängige Vernetzung von Informationen aus verschiedenen Phasen des Lebenszyklus einer Instanz eines Product-Service-Systems.“ [5]

Das Konzept des Digitalen Zwillinges beschreibt eine virtuelle Repräsentation eines physischen Systems, welches in diesem Kontext dann als Physischer Zwilling bezeichnet wird. Im Kern des Digitalen Zwillinges befinden sich Modelle, welche den physischen Zwilling und insbesondere dessen Verhalten beschreiben. Dabei kann es sich um numerische, analytische oder empirische Modelle handeln, welche während der Entwicklung des Digitalen Zwillinges erstellt werden und während der Nutzung dazu dienen, dass beschriebene Verhalten zu berechnen oder zu simulieren. Die gesammelten und kombinierten Modelle bezeichnet man als Digitalen Master. Dieser dient als „Blueprint“ für jeden entstehenden Physischen Zwilling. Die Modelle werden sodann mit dynamischen Daten aus dem Betrieb des Physischen Zwillinges gespeist, welche von integrierten Sensoren erfasst werden. Hierbei spricht man von einem Digital Shadow, oder Digitalen Schatten. Ermöglicht man dann bidirektionalen Datenaustausch zwischen der Physischen und der Digitalen Welt, handelt es sich um einen Digitalen Zwilling. Für den bidirektionalen Datenaustausch zwi-

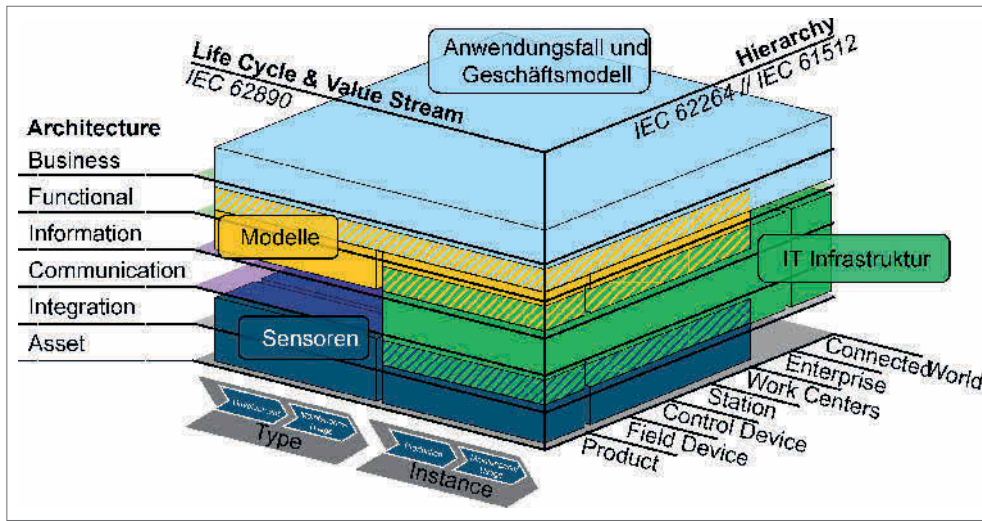


Bild 1 Einsortierung des Konzept des Digitalen Zwillings in das RAMI 4.0. Grafik: pmd/in Anlehnung an [11, 12]

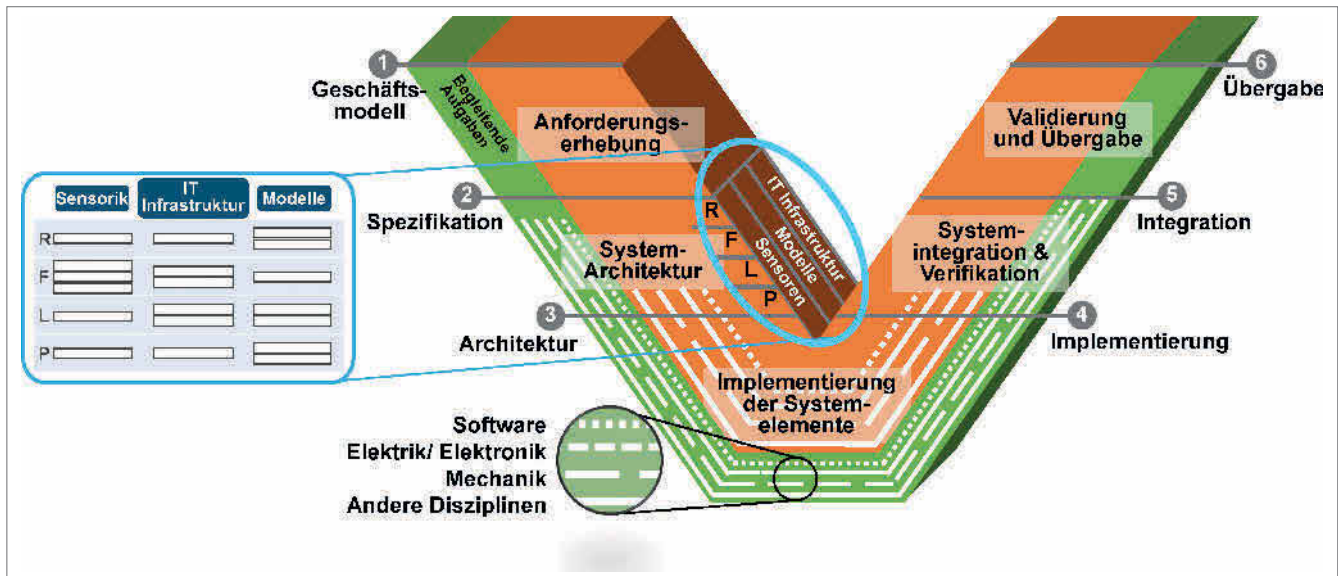


Bild 2 V-Modell für Digitale Zwillinge Grafik: pmd/in Anlehnung an [3]

schon Digitalem und Physischem Zwilling ist eine geeignete IT-Infrastruktur notwendig [6-9].

Für ein besseres Verständnis des Konzeptes des Digitalen Zwillings kann dieses in das Referenzarchitektur Modell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) [10] einsortiert werden (**Bild 1**). Dabei wird das Gesamtkonzept aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet, welche die Achsen des RAMI 4.0 darstellen. Für den vorliegenden Beitrag ist vor allem die Architecture Achse von Relevanz. Auf den obersten beiden Schichten befinden sich die Anwendungsfälle, welche die wirtschaftliche Nutzbarmachung sowie die Funktionen des Digitalen Zwillings beschreiben. Darunter liegen die Modelle, welche den Kern des Digitalen Zwillings darstellen und ebenfalls die Funktionen, aber auch die Informationsverarbeitung adressieren. Auf den untersten beiden Schichten befinden sich die Sensoren, welche in den physischen Zwilling (das Asset) integriert werden. Zwischen den Modellen und den Sensoren liegt die IT-Infrastruktur, welche eine Schnittstelle zwischen diesen beiden Domänen darstellt. Sie verarbeitet die Daten der integrierten Sensoren, und etabliert eine Kommunikation bis hin zur Informationsverarbeitung durch die Modelle [11, 12].

2.2 Methodiken zur Entwicklung Digitaler Zwillinge

Bei der Digitalisierung technischer Systeme stellt fehlende Expertise und Fachpersonal eine zentrale Hürde da [13], eine Beobachtung, welche zahlreichen Umfragen auch im Kontext Digitaler Zwillinge machen [14]. Diese Hürde kann durch den gezielten Einsatz von geeigneten Vorgehensmodellen und Methoden adressiert werden. Fett et al. [15] haben in einer systematischen Literaturrecherche entsprechende Vorgehensmodelle identifiziert, darüber hinaus finden sich in der Literatur aber noch weitere Vorgehensmodelle (beispielsweise [16-19]).

In mehreren Vorarbeiten wurde von Fett et al. ein eigenes Vorgehen für die Konzeptionierung und Implementierung Digitaler Zwillinge erarbeitet (**Bild 2**). Dieses basiert auf dem V-Modell der VDI 2206 [20] und übernimmt die makroskopische Struktur der Hauptschritte (Anforderungserhebung, Systemarchitektur, Implementierung der Systemelemente, Systemintegration & Verifikation sowie Validierung & Übergabe) nahezu unverändert. Auf einer konkreteren Betrachtungsebene wird das Vorgehen allerdings auf den Kontext Digitaler Zwillinge hin modifiziert beziehungsweise konkretisiert [3]. Dabei wird das Gesamtsystem

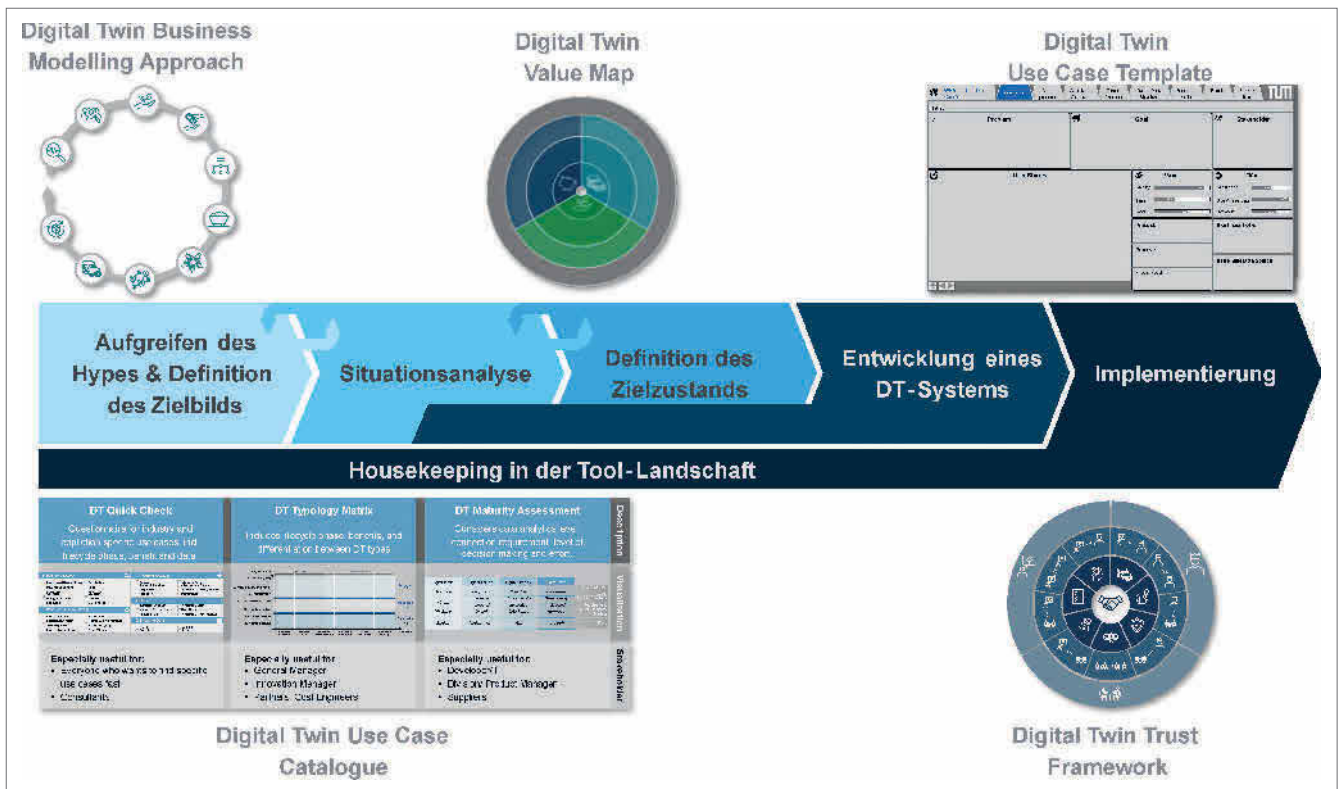


Bild 3 DITTID – The Digital Twin Toolbox for Implementation and Design Grafik: :em engineering methods AG/in Anlehnung an [4]

des Digitalen Zwillings zerlegt in die Domänen Modelle [15], Sensoren [21] und IT-Infrastruktur [12], in denen jeweils domänenspezifische Vorgehensschritte durchgeführt werden. Der Fokus liegt dabei vor allem auf der technischen Umsetzung des Digitalen Zwillings, wofür das Vorgehensmodell auch von der F&B-Engineering GmbH genutzt wird.

Die Digital Twin Toolbox for Implementation and Design (DITTID) von Trauer et al. [4, 22-24] ist eine Sammlung von Vorgehensweisen und Methoden, welche Unternehmen bei der Konzeptionierung und Implementierung Digitaler Zwillinge unterstützen soll. Dabei steht im Vergleich zu den zuvor diskutierten Ansätzen zur technischen Umsetzung Digitaler Zwillinge insbesondere ökonomische sowie unternehmensorganisatorische Faktoren im Vordergrund. Im Kern steht ein fünfstufiges Vorgehensmodell (Bild 3). Sowohl das Vorgehensmodell als auch der Methodenbaukasten werden industriell von der :em engineering methods AG eingesetzt.

3 Überführung in ein Gesamt-Vorgehen

Die im vorherigen Abschnitt vorgestellten Methodiken weisen trotz des gleichen, übergeordneten Ziels – der Entwicklung Digitaler Zwillinge – unterschiedliche Schwerpunkte auf. So liegt der Fokus des V-Modells aus Abschnitt 2.2 auf der technischen Umsetzung des Digitalen Zwillings, während bei der DITTID ökonomische sowie unternehmensorganisatorische Faktoren im Vordergrund stehen. Die beiden Ansätze bauen auf den gleichen Grundparadigmen auf, wodurch sie sich ergänzen und geeignet sind, in ein Gesamtverfahren überführt zu werden, welches eine breitere Palette an Schwerpunkten abdeckt. Durch die Zusammenführung eröffnen sich darüber hinaus neue Nutzenpotenziale in Form einer Feedbackschleife zur Reifegradbewertung und

Priorisierung von Anwendungsfällen. Bild 4 zeigt den Ablauf des Vorgehens, welches im Folgenden beschrieben wird.

3.1 Initiale Anwendungsfall-Identifikation, Situationsanalyse, Anforderungserhebung und Konzeptionierung der Systemarchitektur

Das Vorgehen beginnt mit der Geschäftsmodell-Entwicklung, sowie der Identifikation geeigneter Anwendungsfälle Digitaler Zwillinge, welche dabei helfen, die individuellen Unternehmenszielen zu erreichen. Zur Unterstützung kann auf die Digital Twin Value Map [4, 5, 25] zurückgegriffen werden. Diese hilft dabei, aus den übergeordneten Unternehmenszielen konkretere Teilziele abzuleiten, welche durch konkrete Anwendungsfälle Digitaler Zwillinge erreicht werden können [4, 23, 24]. Darüber hinaus wird die Digital Twin Value Map zur Beschreibung des Wertversprechens genutzt, welches Kernbestandteil eines jeden Geschäftsmodells darstellt [22]. Für jeden der identifizierten Anwendungsfälle Digitaler Zwillinge werden dann unter Berücksichtigung der Unternehmensziele, unterschiedlicher Stakeholder sowie weiterer Randbedingungen, die Systemanforderungen an das Gesamtsystem des Digitalen Zwillings ermittelt und das Geschäftsmodell ausdetailliert [22]. In diesem ersten Schritt des Vorgehens sind diese Systemanforderungen, sowie die daraus abgeleiteten, domänenspezifischen Anforderungen an die Modelle, Sensorik und IT-Infrastruktur des Digitalen Zwillings stark anwendungsfallspezifisch [3].

Anschließend werden für jeden Anwendungsfall Konzeptentwürfe für Modelle, Sensorik und IT-Infrastruktur erstellt. Im Kontext der Modelle bedeutet dies, dass ermittelt wird welches übergeordnete Verhalten des physischen Zwillings durch die Modelle beschrieben werden muss, um die für die Anwendungsfälle

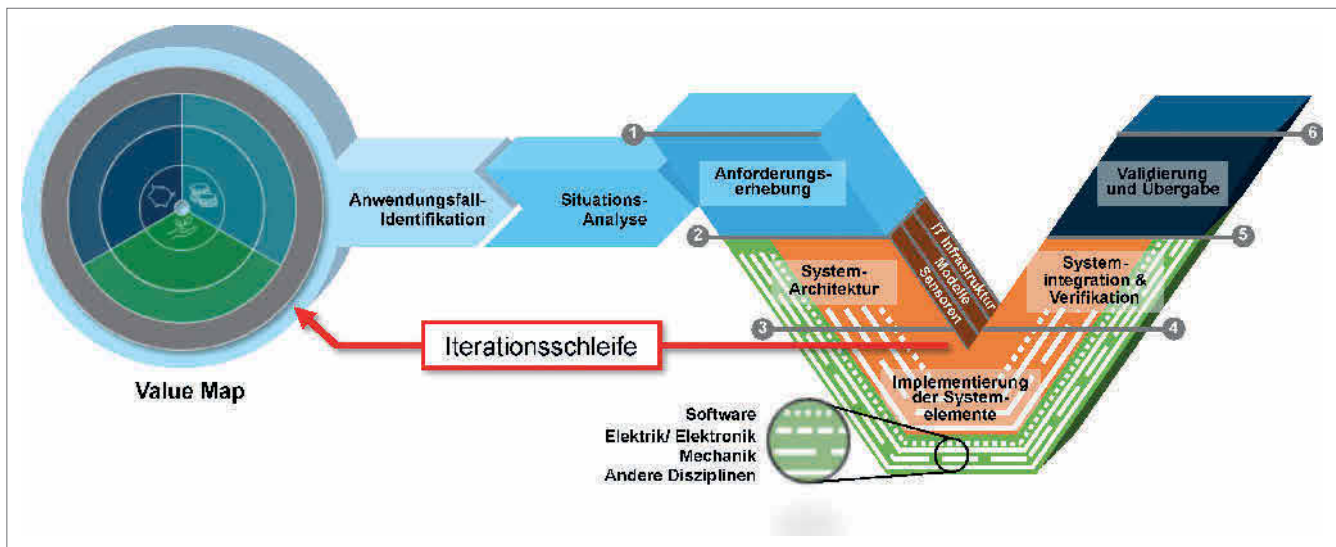


Bild 4 Kombiniertes Vorgehen zur iterativen Entwicklung Digitaler Zwillinge unter Berücksichtigung ökonomischer und technischer Faktoren. Grafik: pmd

notwendige Funktionalität anbieten zu können. Dieses übergeordnete Verhalten wird anschließend hierarchisch zerlegt und so ein erster Entwurf einer Model-Struktur mit entsprechenden notwendigen, zu implementierenden Teilmodelle erstellt [15]. Die Sensoren dienen primär dazu, die Modelle mit den notwendigen Betriebsgrößen zu versorgen. Daher sind sie direkt abhängig davon, welche Eingangsgrößen die identifizierten, zu implementierenden Teilmodelle benötigen. Gemeinsam mit den Anforderungen an das Gesamtsystem des Digitalen Zwillinges und an die Sensorik werden Sensoren mit den passenden Sensorparametern, wie bspw. Messgröße, Messbereich, Abtastrate und Auflösung ausgewählt [21]. Die Schnittstellen und weitere Randbedingungen, welche sich aus den Modellen und Sensoren ergeben, ergänzen weitere domänenspezifische Anforderungen an die IT-Infrastruktur. Darauf aufbauend kann ein Grobentwurf mit den notwendigen Hard- und Softwarekomponenten sowie den Schnittstellendefinitionen erstellt werden [12].

3.2 Iterationsschleife zur Reifegradbewertung und Anwendungsfall-Priorisierung

Die anwendungsfall-spezifischen Anforderungen und Konzeptentwürfe für die Modelle, Sensorik und IT-Infrastruktur sind anschließend Gegenstand einer iterativen Feedbackschleife zur Reifegradbewertung und Anwendungsfall-Priorisierung. Hierzu werden die Anforderungen und Konzeptentwürfe der initial identifizierten Anwendungsfälle bezüglich ihrer Kommunalität beurteilt. Sie werden hinsichtlich ihrer Gleichheit untersucht und Überschneidungen und Ähnlichkeiten herausgearbeitet. Dies kann genutzt werden, um Cluster ähnlicher Anwendungsfälle zu bilden. Darüber wird geprüft, inwiefern bereits Modelle, Sensorik und IT-Komponenten für das bestehende System vorhanden sind (Ist-Zustand), welche dafür genutzt werden können, die angestrebten, anwendungsfall- und domänenspezifischen Konzeptentwürfe (Soll-Zustand) umzusetzen. Das Verhältnis aus diesem Soll- und Ist-Zustand resultiert in einer Beschreibung des jeweiligen Reifegrades des Systems für die individuellen Anwendungsfälle.

Die Beurteilung des Reifegrades der individuellen Anwendungsfälle sowie die Cluster-Bildung dieser hinsichtlich ihrer Kommunalität kann dann herangezogen werden, um die initial

identifizierten Anwendungsfälle zu priorisieren. Im Mittelpunkt steht die Frage, welche Anwendungsfälle in einem Cluster zusammengefasst werden können, um durch gemeinsame Umsetzung den spezifischen Implementierungsaufwand zu verringern. Dabei werden die Anforderungen gesammelt und in gemeinsame Konzeptentwürfe überführt. Randständige Anwendungsfälle, welche aufgrund geringer Kommunalität einen sehr hohen Implementierungsaufwand haben, können kritisch reflektiert und bei Bedarf niedriger priorisiert werden.

Im Rahmen der iterativen Feedbackschleife besteht die Möglichkeit, weitere Anwendungsfälle mit der Value Map zu identifizieren, welche innerhalb der festgelegten Anwendungsfall-Cluster liegen oder für welche das System bereits einen hohen Reifegrad hat. Diese sind daher mit geringen Implementierungsaufwand umsetzbar und stellen sogenannte "Low-Hanging Fruits" dar. Obwohl sie nicht initial ausgewählt wurden, kann aufgrund des guten Aufwand-Nutzen-Verhältnisses eine Weiterverfolgung dennoch lohnenswert sein. Ergebnis dieser mehrfach durchführbaren Iterationsschleife sind eine finale Auswahl an umzusetzenden Anwendungsfällen, sowie ganzheitliche Konzeptentwürfe dieser.

3.3 Implementierung und Integration des Digitalen Zwillinges

Die final festgelegten Anwendungsfälle des Digitalen Zwillinges und die dafür notwendigen Konzeptentwürfe für Modelle, Sensorik und IT-Infrastruktur werden anschließend implementiert und in entsprechende Systemelemente umgesetzt. In der Domäne der Modelle werden hierzu die definierten Teilmodelle erstellt und entsprechend der Modellstruktur zu einem gesamten Super-Modell des Digitalen Zwillinges aggregiert [15]. Hinsichtlich der Sensorik werden die konkreten Sensoren ausgewählt, welche in der Lage sind, die notwendigen Messgrößen mit allen ermittelten Anforderungen zu erfassen. Diese werden anschließend im Rahmen einer konzeptionellen Sensorintegration in das System integriert [21]. Weiter werden die identifizierten, notwendige Hard- und Softwarekomponenten der IT-Infrastruktur, sowie die definierten Schnittstellen konkret umgesetzt und implementiert [12]. Während der Umsetzung dieser domänenspezifischen Systemelemente, werden diese iterativ verifiziert, und abschließend validiert.

Anschließend werden diese im Rahmen einer Systemintegration in das Gesamtsystem des Digitalen Zwillings zusammengeführt, welches ebenfalls verifiziert und validiert wird [3]. Dabei wird der Digitale Zwilling in bestehende Strukturen des Unternehmens und am Produkt integriert. Dies geschieht zunächst in einem Pilotprojekt und anschließend im regulären Betrieb [4].

4 Evaluierung im Anwendungsfall „Bahntechnik“

Das vorgestellte Konzept wird beispielhaft an einem, von der :em AG entwickelten, Anwendungsfall vorgestellt. Für die Entwicklung des Ausgangszustands wurde die Methodik DITTID angewandt [4]. Basierend auf einer H0-Modelleisenbahn veranschaulicht der Showcase eine praxisnahe Implementierung verschiedener Technologien zur Verwaltung digitaler Zwillinge (**Bild 5**). Hierzu wurden verschiedenste ingenieurtechnische Artefakte aus der Entwicklungsphase – dem Digitalen Master – bidirektional mit Betriebsdaten des Zuges – dem Digitalen Schatten – verknüpft. Integraler Bestandteil des Aufbaus stellt der Bosch Semantic Stack der Bosch Connected Industries (BCI) dar (<https://www.bosch-connected-industry.com/de/de/portfolio/bosch-semantic-stack>). Er dient als Integrationsschicht für die unterschiedlichen Datenobjekte und wird als Digital Twin Registry verwendet. Basierend auf dieser Architektur können mithilfe der Asset Administration Shell (AAS) der Industrial Digital Twin Association (IDTA) [26] konkrete Digital Twin Anwendungsfälle umgesetzt werden.

Für die Engineering-Artefakte wurde eine heterogene Tool-Landschaft gewählt, um eine realitätsnahe Brownfield-Umgebung abzubilden. Anforderungen wurden in ReqMan und Codebeamer erfasst, die Systemarchitektur in Cameo modelliert. Die Produktstruktur entstand in Siemens Teamcenter, 3D-Modelle in Siemens NX und deren Web-Streaming über den instant3Dhub von Threedy. Die Systemsimulation erfolgte in Python. Im Betrieb erfasst ein Messwagen Zuggeschwindigkeit, Strecke, Weichenstellung, Zugposition und Energieverbrauch. Hierbei ist zu erwähnen, dass die verwendete IT-Architektur möglichst realistisch eine heterogene Tool-Landschaft darstellt (**Bild 6**). Die jeweiligen Elemente wurden nicht methodisch gestützt ausgewählt.

Basierend auf dieser Architektur wurde ein Dashboard, eine Digitale Steuerung mit automatisierten Fahrprofilen, sowie ein Digitaler Produktpass (DPP) umgesetzt. Der Digitale Produktpass beinhaltet ein digitales Typenschild, benötigte Übergabedokumente, die Stückliste des Produktes, den Product Carbon Footprint (PCF) runtergebrochen auf die unterschiedlichen Lebenszyklusphasen inkl. der Nutzung, sowie technische Daten des Produkts. Grundlage hierfür stellen die jeweiligen Submodell-Templates der IDTA dar. Für jedes Element der Modelleisenbahn wurde ein solcher Digitaler Produktpass erstellt. D.h. für die Strecke, die aus mehreren schaltbaren Weichen besteht, sowie den Zug, welcher sich aus der Lokomotive und dem Messwagen zusammensetzt. Der Digitale Produktpass ist digital abrufbar unter: https://digital-nameplate.em.ag/ids/aas/0353_2110_3042_4912.

Dieses bestehende System soll nun mit der vorgestellten Methodik erweitert werden. Zunächst wurden systematisch potenzielle Digital Twin Anwendungsfälle mithilfe der Digital Twin Value Map (siehe oben) identifiziert und bezüglich ihres Wertversprechens bewertet. Der Use Case Katalog [4] wurde dabei nicht angewandt. Ein Thema welches große Teile der europäi-

schen Industrie beschäftigt ist der Digitale Batterie Pass (DBP), welcher als eine Unterform des DPPs ab 2027 für viele Hersteller von Batterien und batteriebetriebenen Geräten rechtlich bindend wird [27, 28]. Im Rahmen dieses Demonstrators, soll ein solcher DBP für die Batterie, die zum Betrieb einer Frontkamera nötig ist, umgesetzt werden. Der DBP ermöglicht es Unternehmen, neue Geschäftsmodelle zu entwickeln, die mit dem Digital Twin Business Modelling Approach [22] abgebildet werden können. Beispielsweise kann das Produkt als Service angeboten, eine prädiktive Wartung entwickelt oder Use Cases der Circular Economy, wie Remanufacturing oder Reuse von Komponenten, ermöglicht werden. Neben den Geschäftsmodellen wurden in der Anwendungsfallidentifikation auch die relevanten Stakeholder und deren Bedürfnisse und Anforderungen dokumentiert.

Basierend auf einer IST-Analyse wurden Konzeptentwürfe in den Domänen Modelle, Sensorik und IT-Infrastruktur erstellt. Erforderlich für die Erstellung des DBPs ist die Erfassung der Zustandsdaten der 6V-Batterie. Diese beinhalten den Ladezustand sowie die Temperatur des Akkus. Die Messung des Ladezustandes erfolgt auf Basis einer Spannungsmessung. Die Messelektronik erfordert eine Spannung von 3,3 V. Daher ist ein Spannungsregler nötig, welcher nach Messung der Verbraucher eine Mindestleistung von 0,66 W gewährleisten muss. Da die Spannung der Batterie zu hoch für den Mikrocontroller mit der Messelektronik ist, wird ein Spannungsteiler installiert. Für die Messung der Temperatur wurde auf der Oberseite der Batterie ein digitaler Temperatursensor angebracht und an den Microcontroller angeschlossen.

Der Mikrocontroller muss schließlich in die bestehende IT-Architektur drahtlos eingebunden werden. Hierfür werden die Daten per MQTT-Protokoll an die Datenbank des Demonstrators gesendet. Mittels einer Rest-Abfrage werden die Daten anschließend an das AAS-Submodell des Akkus weitergeleitet. Die gesamte Architektur des Demonstrators ist in **Bild 7** dargestellt. Zur Anzeige des DBP wurde eine Oberfläche in Grafana erstellt.

Basierend auf dieser Analyse lässt sich der Implementierungsaufwand gut abschätzen. Da viele Komponenten der bestehenden IT-Infrastruktur wiederverwendet werden können, jedoch zusätzliche Sensorik erforderlich ist, ist der Aufwand dieses Anwendungsfalles als mittel einzustufen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieses Beitrages wurden zwei Ansätze zur Entwicklung Digitaler Zwillinge miteinander kombiniert. Der daraus entstandene Ansatz kombiniert Methoden zur Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit und eines wertgetriebenen Vorgehens mit Methoden zur detaillierten modellbasierten Analyse und Entwicklung des technischen Systems. Die Anwendung am realen Bahntechnik Modell verdeutlicht die Umsetzbarkeit der vorgestellten Methodik. Durch die vorgesehene Iterationsschleife lässt sich der Implementierungsaufwand eines Digital Twin Anwendungsfalles anhand dieses Ansatzes leichter bewerten. Im Rahmen dieser Studie konnte der vorgeschlagene Ansatz nicht in Gänze angewandt werden. Außerdem hat es sich hierbei lediglich um die Weiterentwicklung eines bestehenden Systems gehandelt. Die Eignung des Ansatzes für neuentwickelte Digital Twin Anwendungen kann somit nicht bewertet werden. In Zukunft gilt es, diese Methodik im industriellen Kontext und an einem komplexeren technischen System zu evaluieren. Darüber hinaus sollte die Reifegrad- und

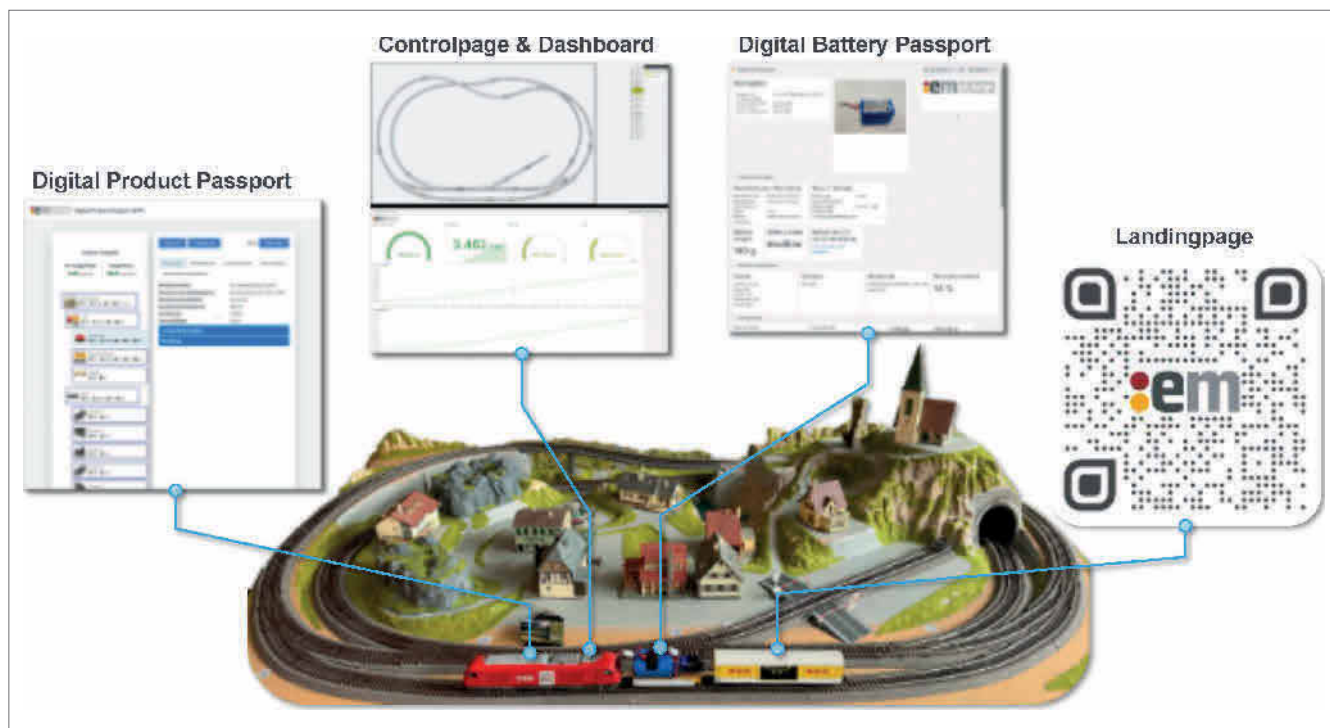


Bild 5 Der Digital Twin Showcase der :em engineering methods AG Grafik: :em engineering methods AG

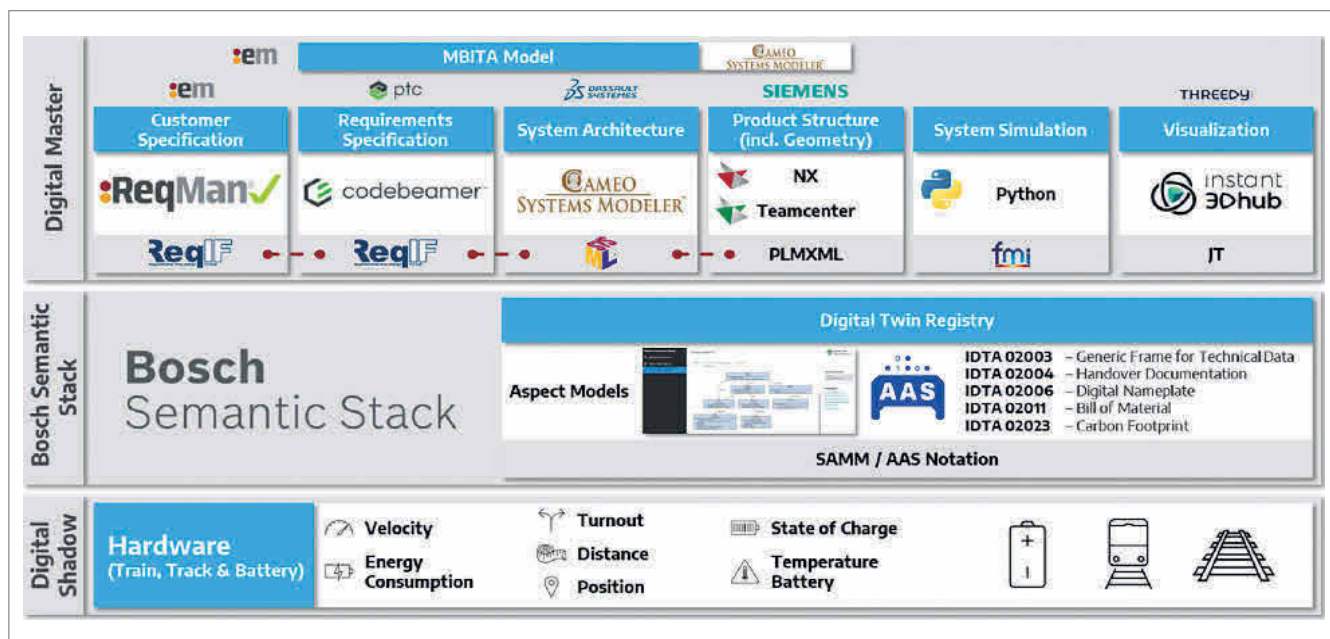


Bild 6 Heterogene IT-Landschaft des Digital Twin Demonstrator. Grafik: :em engineering methods AG

Aufwandsabschätzung im Iterationsschritt methodisch unterstützt werden. Insgesamt kann die Kombination der zwei Ansätze als positiv beschrieben werden.

Literatur

[1] Trauer, J.; Mutschler, M.; Mörtl, M. et al.: Challenges in Implementing Digital Twins – a Survey. In Proceedings of ASME 2022 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (IDETC-CIE 2022), August 14-17, 2022, St. Louis, Missouri. ASME 2022 International Design Engineering

Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, St. Louis, Missouri, USA, 8/14/2022 – 8/17/2022; the American Society of Mechanical Engineers: New York, N.Y., 2022, ISBN 978-0-7918-8621-2.

[2] Fett, M.; Zwickler, J.; Wilking, F. et al.: A survey on the industry's perception of digital twins – a follow-up to the digital twin workshop at the DESIGN Conference 2022. Proc. Des. Soc. 2024, 4, 2039-2048, doi:10.1017/pds.2024.206.

[3] Fett, M.; Wilking, F.; Goetz, S. et al.: Utilization of RFLP in V-Model methodology for the interdisciplinary development of Digital Twins. Forsch Ingenieurwes 2025, 89, doi:10.1007/s10010-025-00812-3.

[4] Trauer, J.: On the Conception and Implementation of Digital Twins – Supporting Companies in the Development of Digital Twins; TUM, 2024.

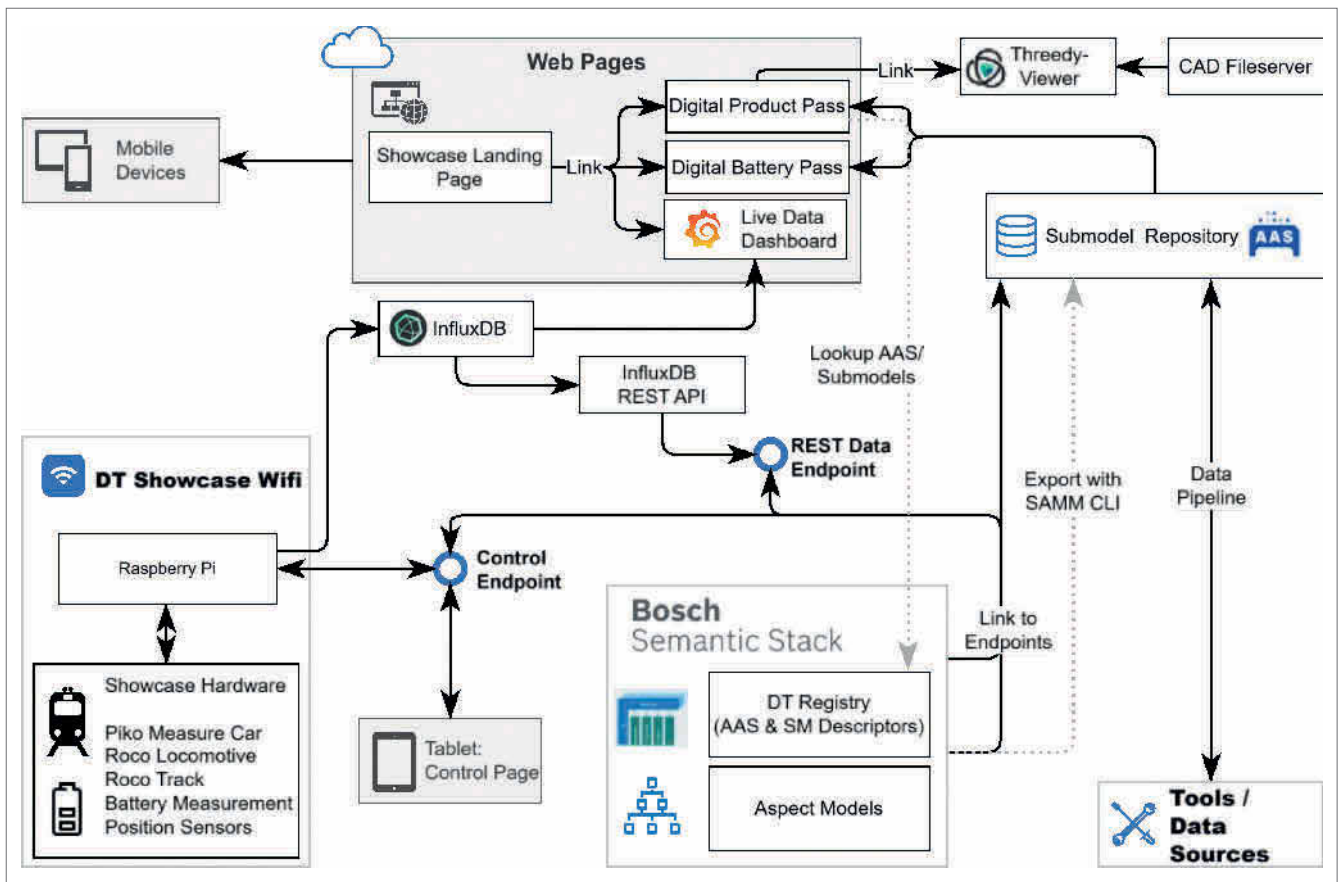


Bild 7 Netzwerkarchitektur des Digital Twin Showcases Grafik: :em engineering methods AG

- [5] Christ, A.; Koch, P.; Krastel, M. et al.: Ready or not – the Digital Twin is coming! How can companies prepare for it? ProductData Journal 2022, 12-17.
- [6] Stark, R.; Anderl, R.; Thoben, K.-D. et al.: WiGeP-Positionspapier: „Digitaler Zwilling“. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 2020, 115, 47-50, doi:10.3139/104.112311.
- [7] Wilking, F.; Schleich, B.; Wartzack, S.: Digital Twins– Definitions, Classes an Business Scenarios for different Industry Sectors. Proc. Des. Soc. 2021, 1, 1293-1302, doi:10.1017/pds.2021.129.
- [8] Czwick, C.; Martin, G.; Anderl, R. et al.: Cyber-Physische Zwillinge. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 2020, 115, 90-93, doi:10.3139/104.112310.
- [9] Trauer, J.; Schweigert-Recksiek, S.; Engel, C. et al.: What is a Digital Twin? – Definitions and insights from an industrial case study in technical product development. Proc. Des. Soc.: Des. Conf. 2020, 1, 757-766, doi:10.1017/dsd.2020.15.
- [10] DIN SPEC 91345:2016-04, Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0); Beuth Verlag GmbH: Berlin.
- [11] Fett, M.; Macko, S.; Wilking, F. et al.: Retrofitting Digital Twins of Existing Systems 2024, 1-8, doi:10.1109/ISSE63315.2024.10741101.
- [12] Fett, M.; Kraft, M.; Wilking, F. et al.: Medium-Level Architectures for Digital Twins: Bridging Conceptual Reference Architectures to Practical Implementation in Cloud, Edge and Cloud-Edge Deployments. Electronics 2024, 13, 1373, doi:10.3390/electronics13071373.
- [13] Fett, M.; Breimann, R.; Mustafa, A. et al.: Barriers and drivers of digitalization of technical products: a survey in industry. Forsch Ingenieurwes 2025, 89, doi:10.1007/s10010-025-00856-5.
- [14] Fett, M.; Wilking, F.; Goetz, S. et al.: Practical insights into the perception of digital twins: An analysis of surveys. Forsch Ingenieurwes 2025, 89, doi:10.1007/s10010-025-00879-y.
- [15] Fett, M.; Wilking, F.; Goetz, S. et al.: A Literature Review on the Development and Creation of Digital Twins, Cyber-Physical Systems, and Product-Service Systems. Sensors (Basel) 2023, 23, doi:10.3390/s23249786.
- [16] Riedelsheimer, T.; Gogineni, S.; Stark, R.: Methodology to develop Digital Twins for energy efficient customizable IoT-Products. Procedia CIRP 2021, 98, 258-263, doi:10.1016/j.procir.2021.01.040.
- [17] Schulte, S. N.; Kremer, G.; Stark, R.: Von der Theorie zur Anwendung – Entwicklungsleitfaden für Digitale Zwillinge/From Theory to Application – a Development Guide for Digital Twins. Konstruktion 2025, 77, 52-57, doi:10.37544/0720-5953-2025-01-02-52.
- [18] Stark, R.; Fresemann, C.; Lindow, K.: Development and operation of Digital Twins for technical systems and services. CIRP Annals 2019, 68, 129-132, doi:10.1016/j.cirp.2019.04.024.
- [19] Wilking, F.; Behringer, M.; Fett, M. et al.: Concept of a Modular and System Model Driven Digital Twin for Engineering Education. In 2023 18th Annual System of Systems Engineering Conference (SoSe), 14-16 June 2023 : conference location: Lille, France. 2023 18th Annual System of Systems Engineering Conference (SoSe), Lille, France, 6/14/2023-6/16/2023; IEEE: Piscataway, NJ, 2023; pp 1-7, ISBN 979-8-3503-2723-6.
- [20] VDI. Development of mechatronic and cyber-physical systems: VDI/VDE 2206:2021-11, 2021.
- [21] Fett, M.; Wilking, F.; Goetz, S. et al.: Sensor selection and integration for Cyber-Physical Systems in context of Digital Twins – A systematic review of requirements. In 2023 18th Annual System of Systems Engineering Conference (SoSe), 14-16 June 2023 : conference location: Lille, France. 2023 18th Annual System of Systems Engineering Conference (SoSe), Lille, France, 6/14/2023 – 6/16/2023; IEEE: Piscataway, NJ, 2023; pp 1-7, ISBN 979-8-3503-2723-6.
- [22] Trauer, J.; Mac, D. P.; Mörtl, M. et al.: A digital twin business modelling approach. Proc. Des. Soc. 2023, 3, 121-130, doi:10.1017/pds.2023.13.
- [23] Trauer, J.; Pflingstl, S.; Finsterer, M. et al.: Improving Production Efficiency with a Digital Twin Based on Anomaly Detection. Sustainability 2021, 13, 10155, doi:10.3390/su131810155.
- [24] Schweigert-Recksiek, S.; Trauer, J.; Engel, C. et al.: Conception of a digital twin in mechanical engineering – A case study in technical product development. Proc. Des. Soc.: Des. Conf. 2020, 1, 383-392, doi:10.1017/dsd.2020.23.
- [25] Schweigert-Recksiek, S.; Trauer, J.; Krastel, M.: Wie der digitale Zwilling Mehrwert schafft – eine Nutzensystematik. Konstruktionspraxis 2023.
- [26] IDTA. IDTA – Der Standard für den Digitalen Zwilling. Available online: <https://industrialdigitaltwin.org/> (accessed on 30 April 2025).

- [27] European Union. Regulation (EU) 2023/1542 of the European Parliament and of the Council of 12 July 2023 concerning batteries and waste batteries, amending Directive 2008/98/EC and Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Directive 2006/66/EC. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj> (accessed on 30 April 2025).
- [28] European Union. Regulation (EU) 2024/1781 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for sustainable products, amending Directive (EU) 2020/1828 and Regulation (EU) 2023/1542 and repealing Directive 2009/125/EC. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1781/oj> (accessed on 30 April 2025).

Michel Fett

pmd, TU Darmstadt
F&B-Engineering GmbH

Jakob Trauer

:em engineering methods AG

Sebastian Schweigert-Recksiek

:em engineering methods AG

Richard Breimann

pmd, TU Darmstadt
F&B-Engineering GmbH

Marcus Krastel

:em engineering methods AG

Eckhard Kirchner

pmd, TU Darmstadt

Technische Universität Darmstadt
Institut für Produktentwicklung und Maschinenelemente (pmd)
64289 Darmstadt
www.pmd.tu-darmstadt.de

:em engineering methods AG
64295 Darmstadt
www.em.ag

F&B-Engineering GmbH
64295 Darmstadt
www.fb-engineer.de

Quantenfehlerkorrektur mit logischen Qubits

Quantencomputer verfügen über immenses Potenzial, weil sie hochkomplexe Berechnungen deutlich schneller als aktuelle Supercomputer durchführen könnten. Ebenso immens ist Stand heute allerdings die Hürde auf dem Weg zur praktischen Anwendung von Quantencomputern: die Fehleranfälligkeit ihrer Hardware. Weltweit arbeiten Forschende deshalb an Verfahren zur Quantenfehlerkorrektur, um die Berechnungen von Quantencomputern zuverlässiger zu machen.

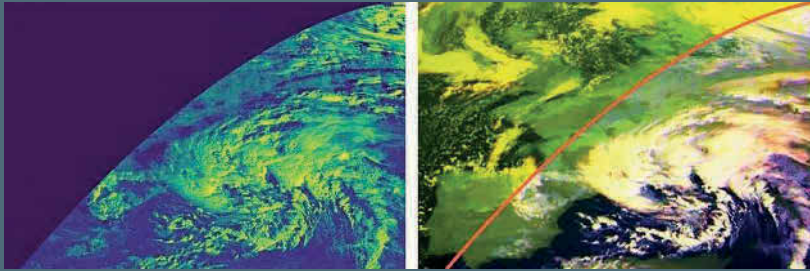
Vor diesem Hintergrund haben die Neqxt GmbH (Eigenschreibweise: neQxt), das Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF und die Point 8 GmbH das Projekt Snaqcs-2025 (Eigenschreibweise: snaQC2025) gestartet, um einen Ansatz zur Quantenfehlerkorrektur entscheidend voranzutreiben. Mit Simulations- und Integrationsverfahren, Software-Tools für Analyse und Optimierung sowie skalierbarer und fehlerresistenter Quantenalgorithmen wollen die Verbundpartner robuste logische Quantenbits (Qubits) für Quantencomputing-Hardware entwickeln. Auf diesem Weg soll die Fehleranfälligkeit physikalischer Qubits kompensiert werden, um Quantencomputing einen großen Schritt näher in Richtung praktische Nutzung zu bringen.



Florentin Reiter (Fraunhofer IAF), Carsten Zwilling (point8), Sascha Heußen (neQxt), Florian Kruse (point8), Roman Bansen (neQxt), Nikolas Knake (VDI TZ), Jesko Merkel (point8), Tobias Nauck (Fraunhofer IAF), Edoardo Carnio, Lina Vandr  (neQxt). Foto: Markus Speier

Das Qubit ist die wichtigste Komponente eines Quantencomputers. Es übernimmt als zentrale Informationseinheit dieselbe Funktion wie das Bit beim konventionellen Computer, es kann aber im Gegensatz zum Bit mehrere Zustände gleichzeitig annehmen. Durch Quantenverschränkung sind zudem mehrere Qubits unabhängig von ihrer Distanz zueinander verbunden.

Am 14. Januar 2026 trafen sich Vertreter der drei Verbundpartner zum Projekt-Kick-off in Köln. Das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) unterstützt das Projekt im Rahmen der Fördermaßnahme „Anwendungsorientierte Quanteninformatik“ für drei Jahre mit 2,5 Mio. Euro. (Quelle: www.iaf.fraunhofer.de)



Satellitenaufnahmen über Europa zum Sonnenaufgang, links mit sichtbarem Kanal, rechts mit sichtbarem und Infrarot Kanal. Der schwarze Bereich im linken Bild liegt im Dunkeln. Bild: Fraunhofer ISE

KI VERBESSERT VORHERSAGE DER SOLAREN EINSTRALHUNG

In Deutschland nutzen Netzbetreiber hauptsächlich Solarstromprognosen, die auf numerischen Wettervorhersagen basieren, um den Anteil an Photovoltaik-Strom in ihren Netzen abzuschätzen. Die Prognose findet meist einen Tag im Voraus statt. Kurzfristige Präzisierungen der Prognose – 15 Minuten bis zu ein paar Stunden im Voraus – für eine Vermarktung des Solarstroms auf dem Intra-Day-Markt oder für das Netzlastmanagement werden auf Basis von Echtzeitmesswerten der PV-Einspeisung sowie Vorhersagen der solaren Einstrahlung aus Satellitenbildern errechnet.

Um die Vorhersage der solaren Einstrahlung für diese kurzfristigen Zeiträume weiter zu optimieren, entwickelten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer ISE eine KI-basierte Methode. Diese sagt die Wolkenentwicklung in Satellitenbildern vorher und wertet sie gegen ein konventionelles Verfahren auf Basis von Wolkenzugsvektoren aus.

„Mit Hilfe des neuen Verfahrens konnten wir Vorhersagefehler gegenüber dem Referenzmodell auf allen untersuchten Vorhersagehorizonten – von 0 bis 4 Stunden je in 15 Minuten Auflösungsintervallen – deutlich reduzieren“, resümiert Nils Straub, Doktorand am Fraunhofer ISE und Hauptautor der Methode. „Im Durchschnitt waren die Vorhersagefehler 11 % geringer.“

Ein Schwachpunkt von Vorhersagen basierend auf Satellitenbildern aus dem sichtbaren Spektralbereich sind die frühen Morgenstunden, so das ISE. Die Qualität der Bilder ist bei niedrigen Sonnenständen beeinträchtigt und vor Sonnenaufgang sind sie komplett schwarz, so dass man in diesen Stunden keine Vorhersagen berechnen kann.

Das Forschungsteam adressierte dieses Problem, indem sie den sichtbaren Bildern zwei zusätzliche Infrarotkanäle hinzufügten. Diese sind nicht auf direktes Sonnenlicht angewiesen und funktionieren so auch im Dunkeln. „Gegenüber einem Modell das allein Bilder aus dem sichtbaren Spektrum nutzt wird, konnten wir die Vorhersageverfügbarkeit so deutlich steigern“, ergänzt Straub. „In Deutschland im Verlauf eines Jahres vor 8 Uhr von circa 22 auf bis zu 100 %. Auch eine deutliche Verbesserung der Prognosen tagsüber war ein erfreuliches Nebenprodukt.“ Die Aufgabe der KI in der Methode ist, die Wolkenentwicklung vorherzusagen und in Sonnenaufgangssituationen Infrarotkanäle für die Strahlungsvorhersage nutzbar zu machen.

Neben dem tages- und jahreszyklischen Strahlungsprofil, das sich aus der Sonnen/Erdkonstellation relativ einfach und mit hoher Genauigkeit berechnen lässt, haben Wolken den größten Einfluss auf die Strahlung am Boden und sind sehr viel schwieriger vorherzusagen. Daher ist die Strahlungsvorhersage eng mit der Vorhersage zukünftiger Wolkensituationen verknüpft. Aus den vorhergesagten Wolkensituationen werden anschließend solare Strahlungskarten für die nächsten Stunden berechnet

Lichtwellenleitertechnik



Lichtwellenleitertechnik – 420 Seiten, 69,00 Euro. Foto: Expert

Die Kapazität der Lichtwellenleiter hat sich in den letzten 40 Jahren im Schnitt aller vier Jahre um einen Faktor zehn erhöht. Verbesserte Lichtwellenleiter, Wellenlängenmultiplex, Einsatz faseroptischer Verstärker, höherwertiger Modulationsverfahren und (aktuell) Raummultiplex über Mehrkernfasern haben dazu beigetragen. Die derzeitige Kapazitätsgrenze liegt bei 100 Tbit/s.

Das ermöglicht nicht nur den Breitbandausbau des Fernnetzes sondern auch die Realisierung größerer Übertragungsbandbreiten in der Fläche.

Inhalt:

- Grundlagen der Lichtwellenleiter-Technik
- Lösbare Verbindungstechnik von Lichtwellenleitern
- Nichtlösbare Glasfaserverbindung
 - Fusionsspleißen
- Lichtwellenleiter-Messtechnik
 - Fiber-to-the-Home/Building
 - Optische Übertragungssysteme.

In der neuen Auflage wurden neue Aspekte berücksichtigt, wie aktuelle Normen, neue Fasertypen, Mehrkernfasern, Fiber-to-the-Home/Building, Mehrfaserstecker, aktualisierte Messvorschrift der DTAG zur Messung an FTTH-Netzen.

Die Autoren arbeiten seit mehreren Jahrzehnten auf dem Gebiet der LWL-Technik und bringen umfangreiche Erfahrungen aus Forschung, Entwicklung und Praxis ein.

D. Eberlein, Ch. Osterberg, R. Sattmann: *Lichtwellenleitertechnik*. Expert 2025. 420 Seiten, ISBN: 978-3-381-14611-6, 69,00 Euro (eBook: 55,99 Euro).

Kreislaufwirtschaft:

Langzeitstudie zu POM in der Automobil- und Haushaltsgeräteindustrie

Wie beeinflusst eine Lagerung von 15 Jahren die Leistungsfähigkeit von POM-Materialien, etwa bei Ersatzteilen der Automobilindustrie? Und welche Bedeutung hat das für die Verwendung von Rezyklaten in der Produktion? Experten aus dem Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF haben in einer umfassenden Untersuchung die Langzeiteigenschaften von Kunststoffen analysiert. Dabei wurden gleiche Proben nach 15 Jahren erneut getestet. Die Ergebnisse sind ein positives Zeichen für die Kreislaufwirtschaft und die Verwendung von Rezyklaten.

Hersteller von Bauteilen und Systemen stehen oft vor der Frage, wie sich die Eigenschaften von Rezyklaten im Vergleich zu neuen Materialien verändern. Die Stoffströme in Rezyklaten haben bereits in ihrem ersten Leben hohen mechanischen Belastungen, extremen Temperaturen und aggressiven Medien standgehalten. Zudem können sich Additive und Stabilisatoren im Material abbauen, was die Widerstandsfähigkeit beeinträchtigen könnte.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens hat das Fraunhofer LBF die Versuchsreihen an 15 Jahre alten Proben wiederholt. Untersucht wurden die Schwingfestigkeitseigenschaften, die für hochbelastete Bauteile essenziell sind. Besonders relevant ist dies für die Ersatzteilversorgung, denn Teile können bis zu zehn Jahre lagern, bevor sie zum Einsatz kommen.

Langzeitstabilität: POM und PA6 GF30 im Fokus

Die untersuchten Materialien umfassen Polyoxymethylene (POM) und Polyamid 6 mit 30 Gewichtsprozent Glasfasern (PA6 GF30). POM findet Anwendung in Zahnrädern der Automobilindustrie und in Haushaltsgeräten wie Geschirrspülern. PA6 GF30 wird hingegen in motornahen Bereichen, wie Saugrohren und Ölwan-



Bild 1 Langzeiteigenschaften von Kunststoffen: Nach 15 Jahren bleibt die Schwingfestigkeit stabil bzw. leicht verbessert, Additive und Stabilisatoren wirken weiter. Foto: Fraunhofer LBF

nen, eingesetzt. Die Proben stammen aus dem Jahr 2010 und lagerten unter Kellerbedingungen. Ziel der Untersuchung war es, die Veränderungen der Schwingfestigkeitseigenschaften nach über 15 Jahre zu ermitteln.

Auswirkungen auf Ersatzteile und Recycling

Die Ergebnisse sind durchweg positiv: Die Schwingfestigkeitseigenschaften haben sich nach 15 Jahren sogar leicht verbes-

sert. Bemerkenswert ist es, dass bei hohen Prüftemperaturen keine Reduktion der Schwingfestigkeit festgestellt wurde. Dies zeigt, dass die im Material enthaltenen Additive und Stabilisatoren auch nach Jahrzehnten der Lagerung effektiv bleiben. Für Produkthersteller und die Recyclingwirtschaft sind diese Erkenntnisse ermutigend, da die mechanischen Eigenschaften unter bestimmten Bedingungen stabil bleiben und die Materialien in den Kreislauf zurückgeführt werden können.

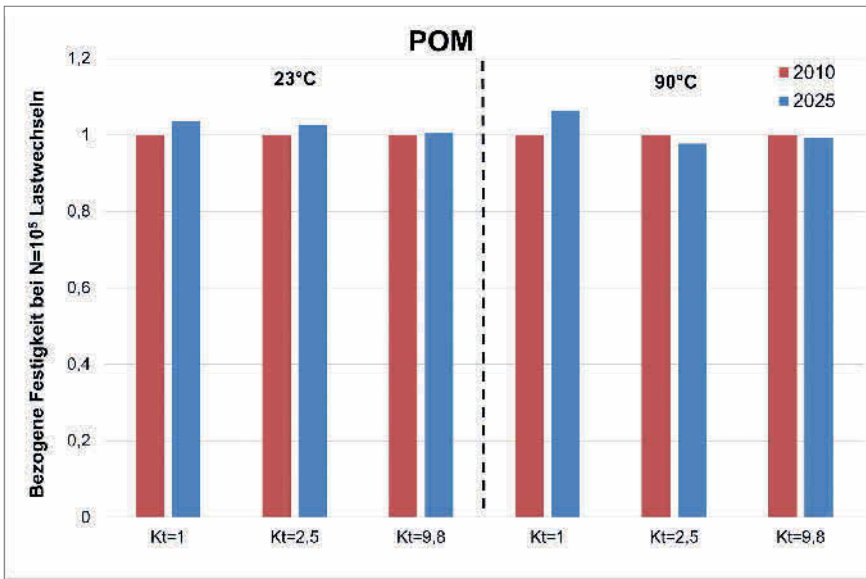


Bild 2 Bezugene Festigkeit bei N=10⁵ Lastwechseln von POM aus dem Jahr 2010 und 2025. Grafik: Fraunhofer LBF

Hinweis: Am 25. und 26. März findet in Darmstadt das 8. Praxisforum Kunststoffzyklate statt. Das Forum hat sich laut LBF als etablierter Branchentreff entwickelt und bietet den Teilnehmenden die Möglichkeit, sich über aktuelle Entwicklungen und Herausforderungen im Kunststoffrecycling auszutauschen. Die Tagungsleitung liegt bei Dr. Elke-Metzsch Zilligen und Dr. Christian Beinert, beide vom Fraunhofer LBF

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF
 Dr. rer. sust. Dominik Spancken
 Tel. (0 61 51) 705-412
 dominik.spancken@lbf.fraunhofer.de
 www.lbf.fraunhofer.de

Don't panic – Chancen in Komplexität entdecken

Veränderungen sind heute keine Ausnahmen mehr, sondern Dauerzustand. Doch wie sollten Menschen und Organisationen auf diese Komplexität reagieren?

Für den Autor liegt im Umgang mit Komplexität das große Potenzial unserer Zeit. In seinem Buch bricht er veraltete Denkmuster auf, beleuchtet typische

Fehleinschätzungen im Umgang mit komplexen Situationen und ermutigt dazu, den Wandel aktiv zu gestalten. Es ist ein Appell, nicht nach einfachen Lösungen zu suchen, sondern Herausforderungen in ihrer Komplexität anzunehmen.

Am Anfang von Veränderung steht die Entscheidung, nicht mehr auf Anweisung zu handeln, sondern aus einer inneren Haltung heraus. Darüber hinaus behandelt das Buch Themen wie das Erkennen von Komplexitätsfallen, den Aufbau einer lernorientierten Fehlerkultur, effektive Teamarbeit, agile Arbeitsformen und Wege, erfolgreich Neues zu gestalten.

Marc Schmetkamp: *Don't panic – Chancen in Komplexität entdecken*. Haufe 2025. 242 Seiten, ISBN: 978-3-648-18671-8, 39,99 Euro.



Don't panic – Chancen in Komplexität entdecken – 242 Seiten – 39,99 Euro. Foto: Haufe

FRAUNHOFER LBF STELLT SICH FÜR DIE ZUKUNFT NEU AUF

Ab 2026 bündelt das Fraunhofer LBF seine Kompetenzen aus den Bereichen Betriebsfestigkeit, Adaptronik und Kunststoffe in einer einheitlichen, interdisziplinären Struktur. Ziel ist es, so das LBF, Kundinnen und Kunden entlang der gesamten Wertschöpfungskette – von der Materialentwicklung über die Komponentenbewertung bis zur Systemintegration – noch effizienter und flexibler zu unterstützen.

Im Zentrum steht den Angaben zufolge der Bereich „Research and Development (RD)“ mit sechs Forschungsabteilungen, die die wissenschaftlichen Schlüsselkompetenzen des Instituts systematisch weiterentwickelt und in transferorientierte, anwendungsnahe Angebote überführt. Die Schnittstelle zu Markt und Gesellschaft stärkt das Fraunhofer LBF mit dem Bereich „Innovation, Transfer and Cooperation (ITC)“: Das ITC beobachtet Bedarfe und Trends, identifiziert Chancen, initiiert und koordiniert kompetenzübergreifende Vorhaben und unterstützt den schnellen Transfer in industrielle Anwendungen.

Die Abteilung „Test Bench Design, Implementation and Operation (TIO)“ bündelt die Versuchsinfrastruktur des Instituts und sorgt für eine effiziente, professionelle Durchführung experimenteller Versuche und Validierungen.

Mit der organisatorischen Weiterentwicklung geht laut LBF eine klare inhaltliche Fokussierung einher: Das Fraunhofer LBF richtet sein Leistungs- und Forschungsangebot entlang von sechs Feldern aus – Digital Twins & Simulation, Dynamics & Vibration Engineering, Reliability Assessment & Lifetime Prediction, Validation & Prototyping, Sustainability & Circularity sowie Consulting & Training. Ziel sei es, wissenschaftliche Methoden, Forschungskapazitäten und Transferpfade so zu verzahnen, dass Unternehmen frühzeitig im Rahmen der Produktentwicklung belastbar entscheiden können und zuverlässige, kreislauffähige Lösungen schneller in die Anwendung bringen.

KI und Recht im Unternehmen



KI und Recht für Dummies – 288 Seiten – 25,00 Euro. Foto: Wiley-VCH

KI-Systeme werden immer häufiger in Unternehmen jeder Größe eingesetzt, sei es durch Nutzung von automatisierten Chatbots im Kundenservice oder durch die Einbindung von KI in unternehmenseigene Systeme. So entstehen Chancen und Innovationspotenziale, doch sind damit auch Risiken und zahlreiche Rechtsunsicherheiten verbunden. Um die Vorteile voll auszuschöpfen und gleichzeitig die Risiken zu minimieren, ist es wichtig, sich grundlegend mit den aktuellen Rechtsvorgaben auszukennen.

Wie der Einsatz von KI gesetzlich geregelt ist, wissen die beiden Autorinnen. Die beiden Fachanwältinnen beleuchten umfassend die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Entwicklung und Nutzung und klären dabei Fragen wie:

- Was darf KI?
- Welche Richtlinien braucht es für eine rechtskonforme Anwendung?
- Was muss im Zusammenhang mit der Nutzung von personenbezogenen Daten beachtet werden?
- Wie können Verträge rund um Beschaffung und Vermarktung gestaltet sein?
- Und wer ist verantwortlich, wenn etwas schief läuft?

K. Schreiber und M. Schreiber: *KI und Recht für Dummies*. Wiley-VCH 2025. 288 Seiten, ISBN: 978-3-527-72341-6, 25,00 Euro.

Pumpen stellen den Dauerbetrieb bei -55°C für die Detektoren am Cern sicher

Teilchendetektoren am Large Hadron Collider (LHC) am Cern, der Europäischen Organisation für Kernforschung, werden mit Lewa-Membran-dosierpumpen gekühlt. Wie das Unternehmen mitteilt, werden die speziell modifizierten Lewa-Pumpen kontinuierlich flüssiges Kohlenstoffdioxid (CO_2) bei Temperaturen bis zu -55°C in den Kühlkreislauf der Detektoren einspeisen. Das neue Kühlsystem für die Detektoren ist Teil des „Phase 2 Upgrade“ am Cern, mit dem die Luminosität (Kollisionsrate) des LHC um das Zehnfache erhöht werden soll. Damit sollen neue Entdeckungen ermöglicht werden, insbesondere in Bereichen wie dunkler Materie und der grundlegenden Natur des Higgs-Teilchens oder „Gottesteilchens“.

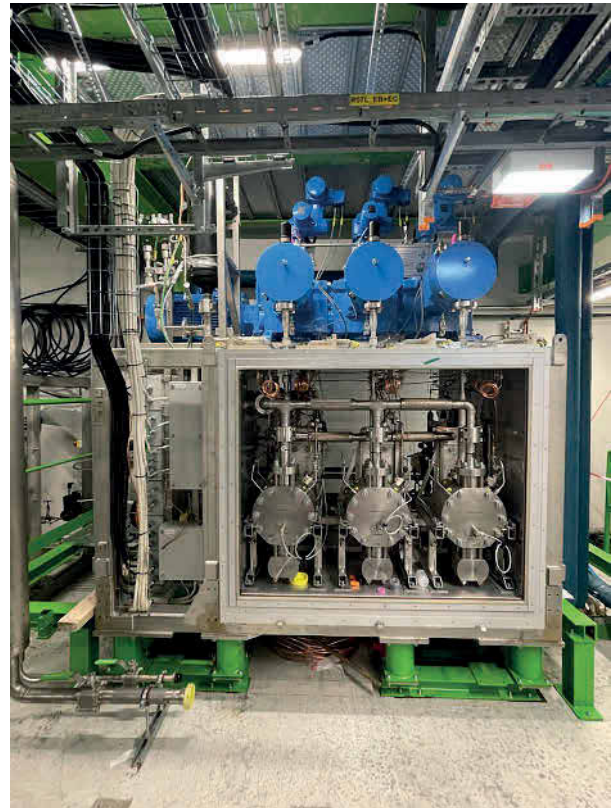
Die extrem niedrigen Betriebstemperaturen stellten eine besondere Herausforderung dar, führt das Unternehmen aus. So darf beispielsweise das Triebwerk der Pumpe nicht mit dem extrem kalten CO_2 in Berührung kommen. Dies erforderte ein spezielles Remote-Design, bei dem der Ventilkopf getrennt vom Verdrängersystem der Pumpe installiert wurde. Es wurde ein spezielles Silikonöl benötigt, für das geeignete Dichtungen gefunden werden mussten. Es wurde ein größerer Membran-Pumpenkopf spezifiziert, um die mechanische Belastung und das Risiko von Rissen oder Brüchen in der Membran zu verringern, die sonst durch die Kälte spröde werden könnte.

Weil das Kühlmittel und das Hydrauliköl im Pumpenkopf lediglich durch die dünne PTFE-Membran getrennt sind, musste sichergestellt werden, dass das Öl für die niedrige Temperatur geeignet ist und nicht gefriert. Außerdem darf die weitergeleitete Temperatur am Triebwerk nicht unter -20°C fallen. Die Lewa Ingenieure berücksichtigten diese Anforderung durch Hinzufügen einer Pendelleitung, in der sich das Hydrauliköl erwärmen kann, damit das CO_2 mit einer Temperatur von -55°C nicht das Triebwerk erreicht.

Der Large Hadron Collider ist der leistungsstärkste Teilchenbeschleuniger der Welt und liegt tief unter der Schweizer Erde. Er besteht aus einem rund 27 km langen Ringtunnel mit vier Messstellen, darunter die Detektoren Atlas und CMS. Atlas ist mit einer Länge von 46 m und einem Durchmesser von 25 m der größte Detektor des LHC, während CMS mit einem Gewicht von 12.500 t der schwerste Detektor ist.

Diese Detektoren zeichnen mit Präzisionsmessungen die Bahn, den Impuls und die Energie der freigesetzten Teilchen auf, so dass sie nach der Kollision der beschleunigten Protonen einzeln identifiziert und gemessen werden können. Betriebstemperaturen bis zu -55°C sind notwendig, um die Präzision zu erhalten und sicherzustellen, dass die neuen Siliziumsensoren nicht durch hohe Strahlungsdosen beschädigt werden.

www.lewa.com



Es wurden mehrere Pumpenprototypen gebaut, die unter der Überwachung von Cern-Mitarbeitern als Prüfstände unter realen Bedingungen fungierten. Foto: Lewa

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.



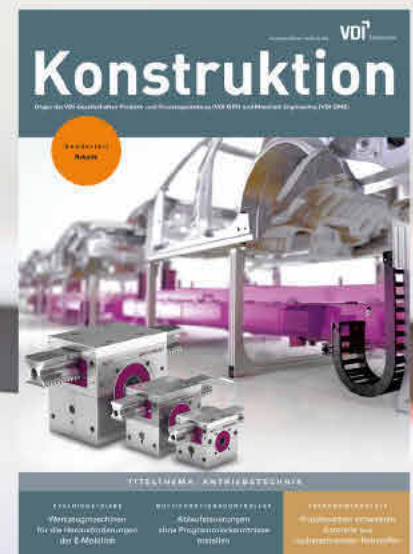
Technikwissen für Ingenieur*innen - jetzt auswählen und bestellen:

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.