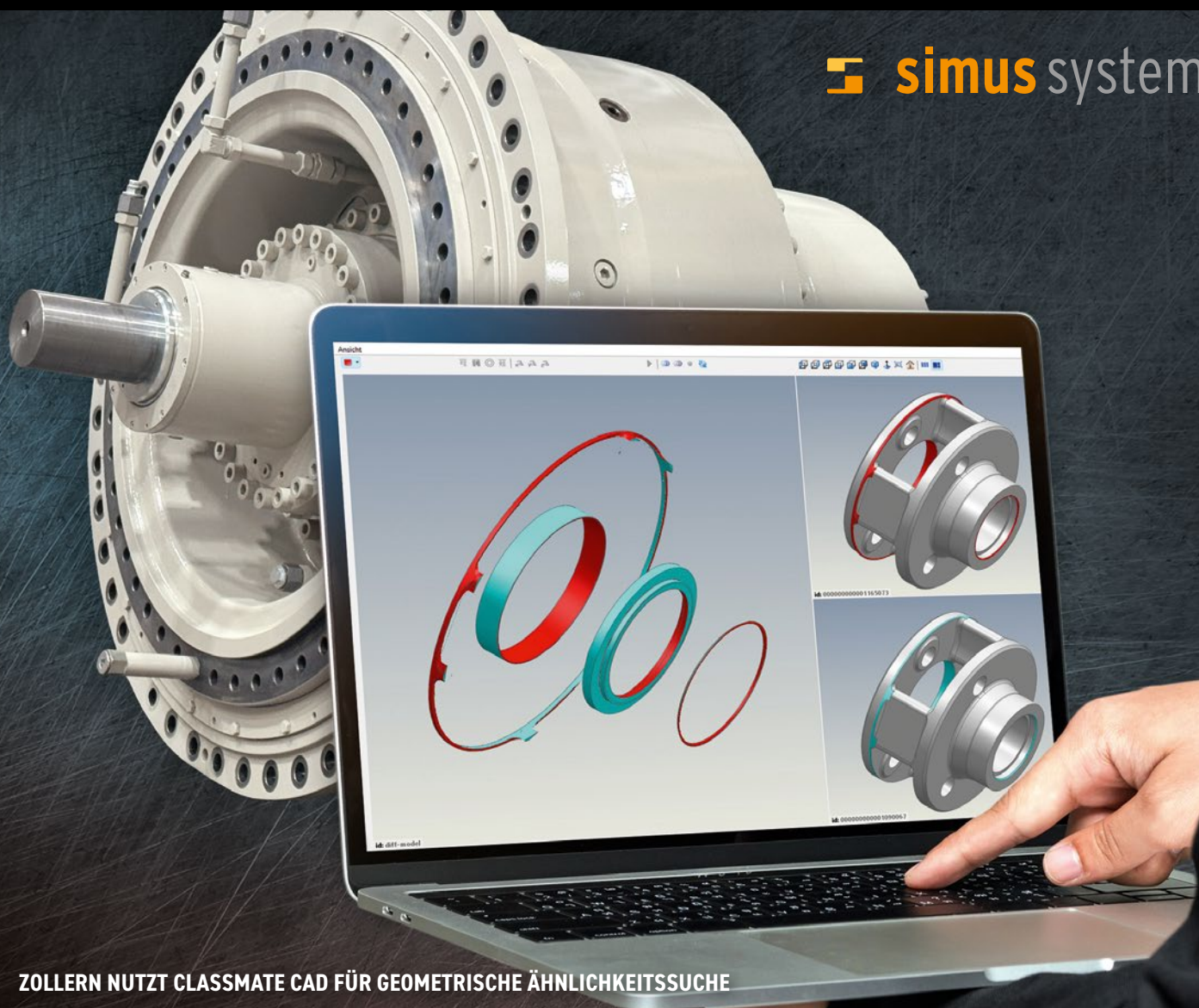


# DIGITAL ENGINEERING MAGAZIN

LÖSUNGEN FÜR KONSTRUKTEURE, ENTWICKLER UND INGENIEURE + INDUSTRIE 5.0 | INTERNET DER DINGE

 **simus** systems



ZOLLERN NUTZT CLASSMATE CAD FÜR GEOMETRISCHE ÄHNLICHKEITSSUCHE

## So lassen sich CAD-Modelle schneller finden und vergleichen

### CYBER RESILIENCE ACT (CRA)

Produkte mit digitalen Komponenten:  
Neue Pflichten für Hersteller

### AUTOMOTIVE IM FOKUS

Die nächste Entwicklungsstufe  
des Software Defined Vehicle

### INDUSTRIAL METAVERSE

Warum digitale Zwillinge erst  
mit XR ihr Potenzial entfalten



Bild: Zapp2Photo/shutterstock.com



*Hier geht's zur aktuellen Ausgabe*



Die nächste Ausgabe

# Sonderheft Antriebstechnik

erscheint am 27. Oktober 2026

Das Sonderheft „Antriebstechnik – Systeme und Komponenten“ zeigt aktuelle Innovationen und Trends rund um moderne Antriebslösungen

# VOM FAHRZEUG ZUM DIGITALEN ÖKOSYSTEM

## Liebe Leserinnen und Leser,

die Automobilindustrie erlebt derzeit einen der tiefgreifendsten Umbrüche ihrer Geschichte. Dabei geht es längst nicht mehr nur um den Wechsel vom Verbrennungs- zum Elektroantrieb. Das Automobil entwickelt sich zunehmend zu einer software-definierten Plattform, deren Funktionsumfang weit über das eigentliche Fahrzeug hinausreicht. Für Entwicklungsabteilungen bedeutet das einen grundlegenden Perspektivwechsel.

Während früher Mechanik, Elektronik und Fertigung den Takt vorgeben, bestimmt heute die Software immer stärker die Innovationsgeschwindigkeit. Neue Funktionen begleiten das Fahrzeug über seinen gesamten Lebenszyklus. Updates, neue Dienste und zusätzliche Funktionen gehören inzwischen ebenso zum Produkt wie Karosserie oder Antriebsstrang. Damit verändern sich auch die Anforderungen an Entwicklungsmethoden und Werkzeuge.

Die entscheidenden Weichen werden dabei deutlich früher gestellt. Nicht Betriebssysteme oder Over-the-Air-Updates sind der eigentliche Schlüssel zum Software Defined Vehicle, sondern ein durchgängiges Systems Engineering – von den Anforderungen über die Architektur bis hin zur Validierung. Nur wenn Abhängigkeiten zwischen Hardware, Software und Fahrzeugvarianten von Anfang an sauber modelliert sind, lassen sich Änderungen später sicher und effizient umsetzen. Deshalb wächst auch die Bedeutung einer engen Verzahnung von Product Lifecycle Management (PLM) und Application Lifecycle Management (ALM).

Doch selbst diese Herausforderung beschreibt nur einen Teil des Wandels. Das Fahrzeug wird zunehmend Teil eines umfassenden digitalen Ökosystems. Smartphone, Ladeinfrastruktur, Cloud-Dienste und Navigationssysteme müssen nahtlos zusammenarbeiten.

Für Konstrukteure, Entwickler und Ingenieure bedeutet das: Sie entwickeln heute nicht mehr nur ein Fahrzeug, sondern gestalten komplexe Systemlandschaften. Virtuelle Zwillinge und modellbasiertes Systems Engineering werden damit zu zentralen Werkzeugen, um diese Komplexität beherrschbar zu machen. Wer auch in Zukunft erfolgreich sein will, muss daher das Gesamtsystem im Blick behalten – weit über die Grenzen des eigenen Produkts hinaus. Lesen Sie mehr darüber in unserem Branchenschwerpunkt ab Seite 44.

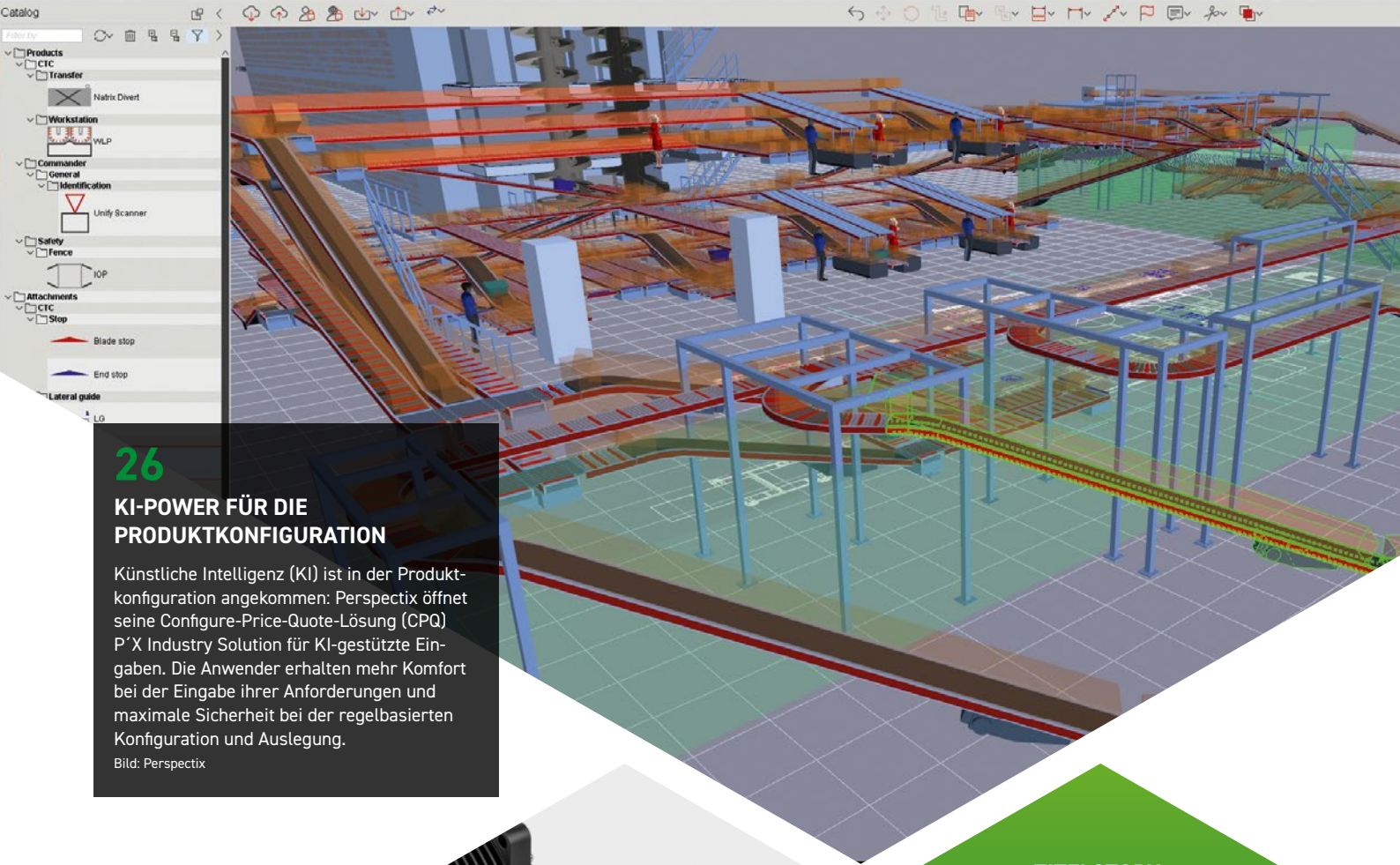
Viel Spaß beim Lesen!



**RAINER TRUMMER**  
Chefredakteur



BESUCHEN SIE DAS DIGITAL ENGINEERING MAGAZIN  
AUCH AUF FACEBOOK, X, XING UND LINKEDIN.



26

## KI-POWER FÜR DIE PRODUKTKONFIGURATION

Künstliche Intelligenz (KI) ist in der Produktkonfiguration angekommen: Perspectix öffnet seine Configure-Price-Quote-Lösung (CPQ) P'X Industry Solution für KI-gestützte Eingaben. Die Anwender erhalten mehr Komfort bei der Eingabe ihrer Anforderungen und maximale Sicherheit bei der regelbasierten Konfiguration und Auslegung.

Bild: Perspectix

36

## AKTUATOREN FÜR MODERNE ROBOTIK

Maxons High Efficiency Joints (HEJ) sind vollintegrierte Aktuatoren für moderne Robotik: Motor, Planetengetriebe, Elektronik, Encoder und Lager in IP67-Gehäuse. Mit hohen Wirkungsgraden, EtherCAT, Drehmomenterfassung und robuster Getriebe-Architektur liefern sie energieeffiziente, fehlertolerante und skalierbare Antriebe für humanoide, mobile und industrielle Systeme.

Bild: Maxon Motor



## TITELSTORY: WIE MAN HOHE TEILEVIELFALT ZUM VORTEIL WENDET

Als Sondermaschinenbauer entwickelt und produziert Zollern kundenspezifische Lösungen mit zahlreichen Individualteilen. Dank der Software-Suite Simus Classmate von Simus Systems findet die Konstruktion nun abwandlungsfähige CAD-Modelle schneller, fasst Varianten intelligent zusammen und steigert die betriebliche Effizienz.

Seite 8

48

## AUTOMOTIVE: SOFTWARE DEFINED VEHICLE

Die Automobilindustrie hat die erste Etappe auf dem Weg zum Software Defined Vehicle (SDV) gemeistert: Software ins Fahrzeug zu integrieren. Doch die eigentliche Bewährungsprobe beginnt jetzt erst mit der nahtlosen Vernetzung von Fahrzeug, Smartphone, Ladeinfrastruktur und digitalen Diensten zu einer kohärenten Nutzererfahrung. Dafür gewinnen virtuelle Zwillinge zunehmend an Bedeutung.

Bild: Gorodenkoff/iStock



### REDAKTIONELL ERWÄHNT E INSTITUTIONEN, ANBIETER UND VERANSTALTER

3Dconnexion S. 52, Accenture S. 10, Autodesk S. 46, Bonfiglioli S. 38, Bosch Rexroth S. 6, Camos S. 20, Dassault Systèmes S. 48, EDAG Group S. 54, Encoway S. 24, Faro Creaform S. 6, Faulhaber S. 30, Fraunhofer IEM S. 56, Jakob Antriebstechnik S. 40, KBK Antriebstechnik S. 42, Kisters S. 22, MathWorks S. 6, Maxon Motor S. 36, Miro S. 18, Onekey S. 14, Perspectix S. 26, PLM-Benutzergruppe e. V. S.12, PNY Technologies S. 50, PTC S. 44, Revalize S. 28, Siemens Digital Industries Software S. 12, 16, Simus Systems S. 8, SPN Schwaben Präzision S. 32, Stöber Antriebstechnik S. 34, Strobl S. 7

## AKTUELL

- 6 **Märkte & Trends**  
Neue Produkte und News aus den Unternehmen
- 7 **Anfassen statt zuschauen**  
Rückblick auf den Automatisierungstreff 2026

## MANAGEMENT

- 8 **Titelstory: Wie man hohe Teilevielfalt zum Vorteil wendet**  
Geometrische Ähnlichkeitssuche beim Sondermaschinenbauer Zollern
- 10 **Digitaler Produktpass wird zum Werttreiber**  
Der Batteriepass ist die erste verbindliche Anwendung des Digitalen Produktpasses
- 12 **Von Anwender für Anwender**  
Rückblick Siemens PLM Connection 2026
- 14 **Cyber Resilience Act: Neue Pflichten für Hersteller**  
Rechtsrahmen definiert Anforderungen für Produkte mit digitalen Komponenten
- 16 **Erst kommt das Scheitern, dann der Erfolg**  
Physische Prototypen kosten Millionen von Euro und dauern mehrere Monate
- 18 **Von Silos zu Synchronisation**  
KI als Treiber moderner Entwicklungsarbeit

## PRODUKTKONFIGURATION UND CPQ IM FOKUS

- 20 **Angebote in Minuten statt Stunden**  
RSP digitalisiert den Vertrieb komplexer Saugbagger mit Camos CPQ
- 22 **3D-Visualisierung ist mehr als ein grafisches Frontend**  
Wie Kisters 3DViewStation den digitalen Vertrieb in der Automobilindustrie verändert
- 24 **Komplexe Antriebstechnik beherrschen**  
Fünf Erkenntnisse für erfolgreiche CPQ-Projekte bei Zollern
- 26 **Mehr Komfort bei maximaler Sicherheit**  
KI-Power für die Produktkonfiguration
- 28 **Warum Engineering heute im Angebotsprozess beginnt**  
Wie Produktkonfiguration und CPQ die technische Umsetzbarkeit früh absichern

## ANTRIEBSTECHNIK

- 30 **VIRAS: Autonomer Einkaufswagen für blinde Menschen**  
Inklusive Mobilität durch Technik
- 32 **Fünf Dimensionen für maximale Leistung**  
Neue Engineering-Konzepte für die Antriebstechnik

- 34 **Laufruhige Antriebe für Milon Fitness & Reha**  
Antriebstechnik für smartes Krafttraining
- 36 **Effiziente, robuste Aktuatoren moderne Robotik**  
High Efficiency Joints
- 38 **Antriebspakete für die Intralogistik**  
Mechatronische Systeme in automatisierten Materialflüssen
- 40 **Maximale Sicherheit in EX-Bereichen**  
Jakob Antriebstechnik erweitert Produktportfolio um ATEX-Kupplungen
- 42 **Für jeden Antrieb die passende Lösung**  
KBK entwickelt Antriebslösungen für die Käseherstellung

## BRANCHE AUTOMOBILINDUSTRIE

- 44 **Warum Software ein stabiles Fundament benötigt**  
Fahrzeugentwicklung 2.0
- 46 **Von der Visualisierung zum Einsatz**  
Nächste Generation digitaler Fabriken
- 48 **Die zweite Halbzeit des Software Defined Vehicle**  
Experience Orchestration in der Praxis

## HARDWARE & PERIPHERIE

- 50 **KI setzt neue Maßstäbe für Workstations**  
Grafiklösungen für Konstrukteure
- 52 **Digitale Konstruktion erlernen**  
Wie moderne Eingabegeräte die CAD-Ausbildung unterstützen

## SPECIAL VR IN DER PRODUKTENTWICKLUNG

- 54 **Metys: Einstieg in die vernetzte Produktion**  
Industrial Metaverse aus der Cloud
- 56 **Vision mit Mehrwert**  
Industrial Metaverse: Warum digitale Zwillinge erst mit XR ihr Potenzial entfalten
- 58 **So werden Baustellen „bombensicher“**  
Für die Krieglufbildauswertung kommen 3D-PluraView-Monitore zum Einsatz

- 3 EDITORIAL
- 61 MARKTPLATZ
- 62 IMPRESSUM
- 62 VORSCHAU

Bosch Rexroth

## MAXIMALE PERFORMANCE FÜR KUGELGEWINDETRIEBE

Bosch Rexroth erweitert die Performance Line seiner Kugelgewindetriebe um eine Lösung für vertikale und dynamische Linearanwendungen. Durch einen neu entwickelten Muttertyp mit optimiertem Ablaufverhalten lassen sich Spindelantriebe für Werkzeugmaschinen oder Servopressen noch leistungsstärker, zuverlässiger und präziser realisieren. Die neue Flansch-Einzelmutter FEH-E-B ist in acht Größen erhältlich. Im Vergleich zum Vorgängermodell steigen die dynamischen Tragzahlen um bis zu 14 Prozent, die Lebensdauer um bis zu 50 Prozent.

Die neu entwickelte Flansch-Einzelmutter Typ FEH-E-B verbessert das Ablaufverhalten durch eine geteilte Kugelschleife mit verringerter Anzahl von Umläufen. Der gleichmäßigere Ablauf und die höhere dynamische Tragzahl verbessern die Prozessqualität und Lebensdauer des Kugelgewindetriebs.

Auf diese Weise lassen sich die Qualität, Produktivität und Zuverlässigkeit in einem breiten Anwendungsspektrum steigern. Typische Einsatzszenarien finden sich in Werkzeug- und Bearbeitungsmaschinen, in der Automation und überall dort, wo hohe Massen hochdynamisch im Dauerbetrieb bewegt werden müssen.

**Kugelgewindetriebe der Performance Line von Bosch Rexroth mit neuer Flansch-Einzelmutter für vertikale und hochdynamische Linearanwendungen.**

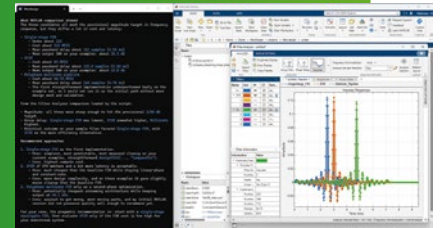
Bild: Bosch Rexroth



MathWorks

## KI-AGENTEN IN MATLAB

MathWorks, Anbieter von mathematischer Software für die Entwicklung technischer Systeme, stellt neue Funktionen vor, mit denen KI-Agenten Matlab-Workflows über das Model Context Protocol (MCP) ausführen und weiterentwickeln können. Möglich wird dies durch die neuen Open-Source-Tools Matlab MCP Server und Matlab Agentic Toolkit. Damit können KI-Agenten Matlab-Code erstellen, ihn in einer Live-Sitzung ausführen, Ergebnisse und Fehlermeldungen analysieren und den Code iterativ optimieren, bis ein korrektes Ergebnis erzielt wird. Die Ingenieure bleiben weiterhin für die Validierung der Ergebnisse und die Anwendung ihres Fachwissens verantwortlich. Diese neuen Funktionen richten sich an Matlab-Anwender sowie Ingenieure im Bereich Applied AI, die agentengesteuerte Workflows entwickeln, sowie an Teams, die KI-gestützte Entwicklungsumgebungen bereitstellen. Durch die direkte Ausführung von Code in Matlab können KI-Agenten ihre Schlussfolgerungen auf deterministische Berechnungen, numerische Analysen und ausführbare Modelle stützen. Dadurch verändert sich der Ansatz der KI von rein probabilistischen Schlussfolgerungen hin zu ausführungsbasierten Ergebnissen, was technische Präzision sicherstellt.



Ein KI-Agent vergleicht mithilfe des Matlab Agentic Toolkits FIR-Filterentwürfe in der Filter Analyzer-App.

Bild: MathWorks

Faro Creaform

## ERWEITERUNG DES 3D-SCANNER-PORTFOLIOS

Faro Creaform kündigt Erweiterungen für seine 3D-Scanner-Produktfamilie an. Das Unternehmen führt den HandyScan EVO und EVO Plus ein, um Prüfabläufe durch eine intuitivere Plattform zu optimieren.

Parallel zu EVO erweitert Faro Creaform durch die Einführung von zwei neuen Modellen der HandyScan-3D-MAX-Serie seine Möglichkeiten zur messtechnischen Prüfung großer Teile und bietet Herstellern damit eine einheitlichere, mobilere und effizientere Möglichkeit, alles von kleinen Teilen bis hin zu großen, komplexen Teilen zu vermessen.

Im Mittelpunkt der Ankündigung steht die nächste Generation der 3D-MAX-Serie, die nun durch den MAX EVO und den MAX EVO Elite repräsentiert wird. Diese Modelle wurden für große und komplexe Teile entwickelt und erweitern die bewährte EVO-Plattformumgebung, sodass auch große Teile geprüft werden können – und das unter Beibehaltung der Genauigkeit, Robustheit und Leistungsfähigkeit, die für die Qualitätskontrolle, Qualitätssicherung, das Reverse Engineering und die zerstörungsfreie Prüfung erforderlich sind.



Beim HandyScan EVO Plus legt Faro Creaform den Fokus auf Effizienz, Zugänglichkeit und Benutzererfahrung durch integrierte Visualisierung direkt am Scanner und vereinfachte, geführte Arbeitsabläufe.

Bild: Faro Creaform



Titelanzeige: Simus Systems

### Wie man hohe Teilevielfalt zum Vorteil wendet

Der Geschäftsbereich Antriebstechnik von Zollern in Herbertingen entwickelt und fertigt Getriebe und Winden, Drehwerke für Krane aber auch hydrostatische Antriebe, Rundtische für Werkzeugmaschinen und Handhabungstechnik für die Automobilproduktion. Über 150.000 parametrische CAD-Modelle enthält der Getriebebaukasten, aus dem eine Vielzahl von Produkten, Varianten und Sonderfertigungen entstehen.

Dank der geometrischen Ähnlichkeitssuche in Classmate CAD von Simus Systems werden Suchen und Teilevergleiche nicht nur wesentlich schneller ausgeführt – die Ergebnisse sind dank Abbildung und Vorschaumodell, PMI und Detailinformationen wesentlich aussagekräftiger.

**Simus Systems GmbH**

Siemensallee 84

76187 Karlsruhe, Deutschland

Tel.: +49 (0) 721 83 08 43-0

E-Mail: info@simus-systems.com

Internet: www.simus-systems.com

# ANFASSEN STATT ZUSCHAUEN

Am 16. und 17. Juni 2026 fand im WTZ-Tagungszentrum in Heilbronn der Automatisierungstreff 2026 statt. Im Mittelpunkt standen praxisnahe Anwender-Workshops, in denen die Teilnehmer selbst Hand anlegen konnten.

**D**ie digitale Transformation hat in den Industrieunternehmen längst einen festen Platz. Doch die Wege dorthin sind vielfältig und mit offenen Fragen gepflastert: Wo fängt man an? Welche Technologien passen zum eigenen Betrieb? Und wer unterstützt bei der Umsetzung? Genau hier setzte der Automatisierungstreff an. In den ganztägigen Workshops arbeiteten die Teilnehmer aktiv mit der bereitgestellten Hard- und Software, erprobten Lösungen unmittelbar vor Ort und klärten offene Punkte im Gespräch mit den Fachleuten der Anbieter. Das Motto der Veranstaltung „Anfassen. Ausprobieren. Anwenden“ war dabei mehr als ein Werbeslogan: Es beschrieb präzise den Charakter der beiden Tage.

Thematisch spannte das Programm den Bogen über die zentralen Schlüsseltechnologien von Industrie 4.0 und Industrial Internet of Things (IIoT): künstliche Intelligenz und Machine Learning, Edge- und Cloud-Computing, Digital Twins, Predictive Maintenance, industrielle Kommunikation, Sensorik sowie Sicherheit und Compliance.

## KI zieht ins Engineering ein

Deutlich sichtbar war 2026 vor allem ein Trend: Künstliche Intelligenz verlässt das Stadium der Absichtserklärungen und hält Einzug in die konkreten Werkzeuge des Automatisierers. So zeigte Codesys in seinem Workshop „Codesys Engineering mit KI-Unterstützung“, wie sich die SPS-Programmierung in der IEC-61131-3-konformen Entwicklungsumgebung durch KI-Assistenz beschleunigen lässt. Aptean führte unter dem Titel „MES meets AI: Dein digitaler Co-Worker in der Fertigung“ vor, wie KI-Funktionen in das Manufacturing-Execution-System einziehen und Werker wie Planer im Fertigungsalltag entlasten. Das Fraunhofer IOSB wiederum adressierte mit seinem Work-

shop zur professionellen Planung und zum Management von KI-Projekten eine der größten Hürden in der Praxis: Viele KI-Initiativen scheitern nicht an der Technologie, sondern an fehlender Projektmethodik.

## Cybersecurity: Der Cyber Resilience Act wirft seine Schatten voraus

Ein zweites Schwerpunktthema, das den Nerv der Besucher traf, war die regulatorisch getriebene Cybersicherheit. Bihl+Wiedemann machte mit der „Cyber Resilience Act (CRA) Tour 2026“ Station in Heilbronn und erläuterte Maschinen- und Anlagenbauern, wie sie ihre Produkte fit für die Anforderungen der neuen EU-Verordnung machen. Dass Security und funktionale Sicherheit keine lästige Pflicht, sondern integraler Bestandteil moderner Automatisierungsarchitekturen sind, zog sich als roter Faden durch das gesamte Programm.

Im Bereich der industriellen Kommunikation informierte die CC-Link Partner Associ-

ation (CLPA) an beiden Tagen in flexiblen Zeitslots über CC-Link IE TSN – und damit über das Zusammenspiel von Gigabit-Bandbreite und Echtzeitfähigkeit auf Basis von Time-Sensitive Networking.

## Innovation-Café: Networking auf Augenhöhe

Parallel zu den Workshops bot das Innovation-Café den Rahmen für den informellen Austausch. In entspannter Atmosphäre kamen Besucher mit den Fachleuten der ausstellenden Unternehmen ins Gespräch – über aktuelle Trends in Automatisierung, IIoT, KI und IT-Security, von IO-Link-Integrationskonzepten über feldbusunabhängige ASI-5-Lösungen bis hin zu leistungsfähigen industriellen Netzwerkinfrastrukturen.

## Zufriedene Gesichter auf allen Seiten

Am Ende der beiden Veranstaltungstage fiel die Bilanz durchweg positiv aus: bei Teilnehmern, und Ausrichter gleichermaßen. Die Besucher lobten insbesondere die Praxisnähe der Workshops und die Möglichkeit, Fragestellungen aus dem eigenen Betrieb unmittelbar mit den Referenten zu erörtern.

Auch die ausrichtenden Unternehmen zeigten sich mit der Qualität der Begegnungen sehr zufrieden: Wer nach Heilbronn kommt, bringt handfeste Aufgabenstellungen mit und entsprechend hoch war die Gesprächstiefe.

Die Fortsetzung ist bereits terminiert: Der Automatisierungstreff 2027 findet am 14. und 15. April 2027 wieder im WTZ-Tagungszentrum Heilbronn statt.



Workshop auf dem Automatisierungstreff: Codesys Engineering mit KI-Unterstützung.

Bild: Strobl GmbH

# WIE MAN HOHE TEILEVIELFALT ZUM VORTEIL WENDET

Als Sondermaschinenbauer entwickelt und produziert Zollern kundenspezifische Lösungen mit zahlreichen Individualteilen. Dank der Software-Suite Simus Classmate von Simus Systems findet die Konstruktion nun abwandlungsfähige CAD-Modelle schneller, fasst Varianten intelligent zusammen und steigert die betriebliche Effizienz. » VON DR. THOMAS TOSSE



Die individuellen Getriebe von Zollern in zahlreichen Größen enthalten viel Know-how und Perfektion. Mit der Software Classmate CAD lassen sich Ähnlichteile einfach identifizieren. Bild: Simus Systems

die Migration von 2D auf das 3D-CAD-System Solid Edge begleitet. Zwischen 2010 und 2015 wurde eine riesige Datenmenge in Indien in 150.000 parametrische 3D-Modelle überführt, die schnell verschiedene Größen der Teile entstehen lassen. „In SAP S/4HANA haben wir eine sehr gute Klassifikation angelegt“, meint Wahl. „Doch bei der Vielzahl ähnlicher Teile reichte dies nicht aus, um jeweils schnell die optimale Grundlage für kundenspezifische Varianten zu finden.“

## Geometrische Ähnlichkeitssuche bei Zollern gefragt

„Wir wollen unsere Suchzeiten reduzieren, Dubletten vermeiden und ähnliche Teile zusammenführen, um wirtschaftlichere Stückzahlen zu erreichen“, beschreibt der Projektleiter seine Ziele. „Im ERP würde eine klassenübergreifende Suche nicht funktionieren, da die geometrischen Unterschiede nur mit sehr großem Aufwand abzubilden sind.“ Also sah man sich am Markt nach Software zur geometrischen Ähnlichkeitssuche um. Der Vergleich von drei Lösungen fiel zugunsten von Simus Systems aus: In ihrer Software-Suite findet sich Classmate CAD, das eine geometrische Klassifizierung und Indexierung von 3D-CAD-Modellen vornimmt und damit die Grundlage für schnelle und mikrofeine geometrische Ähnlichkeitssuchen legt. Die Software füllt mit den gefundenen Werten Sachmerkmale aus, berechnet einen Ähnlichkeitsindex und erstellt sowohl 2D- als auch 3D-Ansichten zur Voransicht. Das Programm integriert sich in viele CAD-Systeme und arbeitet im Hinter-

Eine Krone über der Initiale des Firmennamens steht für über 300 Jahre Geschichte der Unternehmensgruppe Zollern: 1708 gründete Meinrad II. von Hohenzollern-Sigmaringen in Laucherthal die Fürstlich Hohenzollernschen Hüttenwerke – heute ist Karl Friedrich Fürst von Hohenzollern Mitgesellschafter und Vorsitzender des Beirates der Zollern GmbH & Co. KG. Neben der Zentrale in Sigmaringen bestehen mehrere Werke und Tochtergesellschaften in Europa, Nordamerika und Asien. Rund 1.800 Mitarbeiter stellen mit Fachwissen und Perfektion kundenspezifische Lösungen für die Automobil- und Baumaschinenindustrie, maritime Anwendungen, Medizin- und Energietechnik und Maschinenbau her. Vier Geschäftsfelder umfassen Antriebstechnik, Feinguss, Sandguss und Schmiede sowie Stahlprofile.

## Baukasten für Großgetriebe

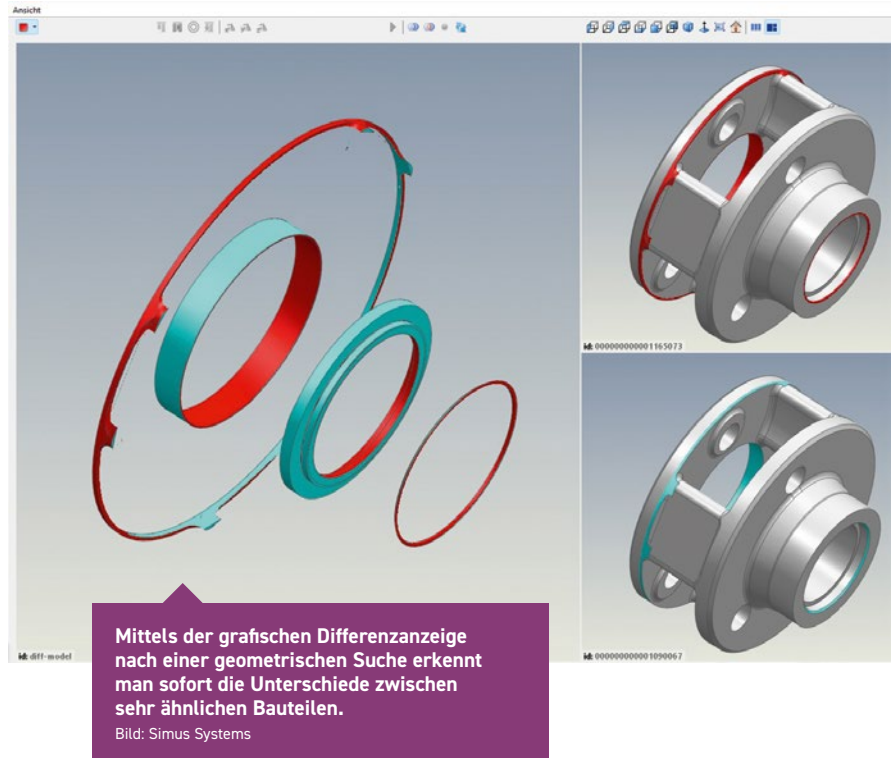
In Herbertingen entwickelt und fertigt der Geschäftsbereich Antriebstechnik Getriebe und Winden, Drehwerke für Krane, aber auch hydrostatische Antriebe, Rundtische für Werkzeugmaschinen und Handhabungstechnik für die Automobilproduktion. Eine Vielzahl von Produkten, Varianten und Sonderfertigungen bestimmen die Tätigkeit der rund 50 Konstrukteure. „Das Herzstück ist unser Getriebebaukasten“, sagt Karl Wahl. Als CAD-Administrator hat er bereits 2007

**ZOLLERN WOLLTE SEINE SUCHZEITEN REDUZIEREN, DUBLETTEN VERMEIDEN UND ÄHNLICHE TEILE ZUSAMMENFÜHREN, UM WIRTSCHAFTLICHERE STÜCKZAHLEN ZU ERREICHEN.**

grund. Ausschlaggebend für die Entscheidung pro Simus Systems waren vor allem drei Gründe: „Dank einer Schnittstelle zu S/4HANA können wir in beiden Systemen die gesamten Daten pflegen, wobei Classmate CAD dies wesentlich erleichtert“, erklärt Karl Wahl. „Als einziges System verarbeitet es die Product Manufacturing Information (PMI), die an CAD-Modellen hängt. Schließlich bereitet die Lösung weitere Effizienzgewinne in der Arbeitsplanung und Kostenkalkulation vor.“

### Reibungslose Implementierung

Mit der Implementierung von Classmate CAD wurden mehrere Klassen mit freigegebenen Teilen aus S/4HANA übernommen. Damit konnte man eine integrierte Sicht aus bestehender SAP-Klassifikation und den Ergebnissen der geometrischen Analyse durch Classmate CAD erreichen. „Wir haben festgelegt, was wir wie sehen wollen und welche Informationen ergänzt werden“, erinnert sich Karl Wahl. „Wir haben viele neue Möglichkeiten entdeckt und schnell umgesetzt.“ An rund 50 Arbeitsplätzen der Konstrukteure wurde die Suchmaschine Classmate Finder aufgespielt. Sie lässt sich per Button aus der Oberfläche von Solid Edge aufrufen und stellt damit umfassende Suchfunktionen bereit. Für rund 20 weitere Anwender ohne CAD-Zugriff, etwa in Einkauf, Qualitätssicherung und Auftragszentrum, wurde die browserbasierte Version EasyFinder eingeführt. „Durch die optimale Zusammenarbeit mit Simus Systems haben wir in kurzer Zeit sehr viel geleistet“, sagt Karl Wahl. „Trotz der hohen Auslastung unseres IT-Bereichs haben wir die Einführungsphase in rund drei Monaten durchlaufen.“ In einer ersten Umfrage erklärten rund 60 Prozent der Anwender, dass sie die Software sehr häufig nutzen. 20 Prozent arbeiten gelegentlich damit – die übrigen Mitarbeiter nutzten die Software aufgrund ihrer Aufgabenlage nicht. „In eintägigen Nachschulungen haben wir die Kenntnisse nochmals vertieft“, berichtet Karl Wahl. „Wer einmal die Suche in Classmate



Finder gestartet hat, will nicht mehr zum ERP-System zurück – die Vorteile sprechen für sich. Damit konnten wir eine höhere, qualitativ bessere Nutzung durch die Anwender erreichen.“

### 80 Prozent Zeiteinsparung

Inzwischen sind die neuen Suchmöglichkeiten seit rund 20 Monaten im Einsatz. „Langjährige Konstrukteure haben ohnehin zu jedem Teil ein umfangreiches Wissen; vor allem Neulinge erledigen ihre Arbeit nun viel schneller und leichter“, berichtet Karl Wahl. Dabei werden Suchen und Teilevergleiche nicht nur wesentlich schneller ausgeführt – die Ergebnisse sind dank Abbildung und Vorschaumodell, PMI und Detailinformationen wesentlich aussagekräftiger. Seine eigenen Untersuchungen, alle Teile einer bestimmten Konstruktion zu finden, ihre Dokumentenverwendung abzufragen und dort weitere Informationen zu sammeln,

haben früher oft fünf Tage gedauert. „Heute spare ich 80 Prozent der Arbeitszeit ein und erledige derartige Aufgaben an einem Tag“, erklärt Karl Wahl. Zwar lässt sich die riesige Bauteilmenge des Sondermaschinenherstellers mit vielen Individualteilen nicht wirklich begrenzen. „Es gelingt uns aber, ähnliche Teile intelligent zusammenzuführen, sodass sie sich mehrfach verwenden lassen.“

Mitarbeiter in der Qualitätssicherung finden nun schneller passende Messprotokolle, im Auftragszentrum werden Arbeitspläne bereinigt und die Montagezeiten genauer eingepflegt. Im Einkauf orientiert man sich über die Preise ähnlicher Teile – bei Stahlbauteilen führt das zu 60 bis 70 Prozent Zeiterparnis. Auch im Vertrieb greift man für eine schnelle Preisfindung auf Ähnlichkeit zurück und findet diese jetzt deutlich komfortabler.

### Erfolg wird ausgebaut

Aufgrund dieser Erfahrungen rechnet Karl Wahl mit einer Amortisation seiner Investition im ersten, maximal im zweiten Jahr. „Wir prüfen auch Möglichkeiten, die Vorteile für die Arbeitsplanung und den Einkauf mit weiteren Modulen von Simus Classmate auszubauen“, erklärt Karl Wahl. „Die Software eröffnet mit einfacher Bedienung große Zeiterparnis – Service und Vertrieb reagieren schnell und kompetent.“

« RT

» **DIE DAUER MEINER EIGENEN UNTERSUCHUNGEN VERKÜRZT SICH MIT SIMUS CLASSMATE VON EINER WOCHE AUF EINEN TAG.** «

KARL WAHL,  
PROJEKTLEITER BEI ZOLLERN



Bild: Zollern

**Dr. Thomas Tosse** ist Inhaber der Agentur Hightech Marketing.

# DIGITALER PRODUKTPASS WIRD ZUM WERTTREIBER

Ab dem 18. Februar 2027 greift mit dem Batteriepass die erste verbindliche Anwendung des Digitalen Produktpasses (DPP). Wer den DPP nur minimal erfüllt, erreicht Compliance. Doch wer ihn strategisch aufsetzt, schafft eine Datenbasis für Effizienzgewinne, besseres Risikomanagement sowie neue Services und Kundeninteraktionen.

» VON ALEXANDER HOLST UND THOMAS MELDE



**EIN SAUBER  
AUFGEBAUTER DPP  
SENKT DIE KOSTEN  
DER NACHWEIS-  
FÜHRUNG.**

**D**er DPP soll künftig Hersteller, Importeure und Händler verpflichten, für bestimmte Produktgruppen standardisierte, maschinenlesbare Informationen entlang des gesamten Lebenszyklus eines Produkts bereitzustellen – von Herkunft und Materialzusammensetzung über Reparierbarkeit bis hin zu Recyclingfähigkeit und CO<sub>2</sub>-Fußabdruck. Anders als das klassische Produktdatenblatt, das statische Marketing- oder Sicherheitsangaben enthält, soll der DPP eindeutig einem Produkt zugeordnet werden. Er soll beispielsweise über einen QR-Code abrufbar, behördlich zugänglich und über die gesamte Nutzungsdauer aktualisierbar sein.

Rechtsgrundlage ist die Ökodesign-Verordnung für nachhaltige Produkte (ESPR, EU 2024/1781), die seit Juli 2024 in Kraft ist.

Die erste harte Frist setzt die EU-Batterieverordnung (EU) 2023/1542 im Artikel 77: Ab Februar 2027 benötigen alle neu in der EU auf den Markt gebrachten Elektrofahrzeugbatterien, Batterien für leichte Verkehrsmittel sowie Industriebatterien mit einer Kapazität von mehr als zwei Kilowattstunden einen digitalen Batteriepass. Die ESPR selbst wird produktgruppenweise über delegierte Rechtsakte ausgerollt, in der Regel mit einer Übergangsfrist von 18 Monaten. Für Textilien, Matratzen, Reifen, Möbel, Eisen und Stahl sowie Aluminium laufen die Vorbereitungen. Diese Gruppen sind im ESPR-Arbeitsplan 2025–2030 priorisiert. Konkrete Pflichten folgen über spätere Rechtsakte. Parallel arbeitet die EU an produktübergreifenden Anforderungen zur Reparierbarkeit, Recyclingfähigkeit und zum Rezyklatanteil – zunächst bei Elektro- und Elektronikgeräten.

## Mehrwert jenseits der reinen Konformität

Aus Compliance-Perspektive bringt der DPP neue Pflichten. Gleichzeitig eröffnet er Unternehmen Geschäftschancen. Diese zeigen sich vor allem in vier Dimensionen:

- 1. Marktzugang zum EU-Binnenmarkt**  
Produkte ohne DPP werden künftig keinen Zugang zum größten Binnenmarkt der Welt mehr erhalten. Der DPP wird damit zur Voraussetzung für das Kerngeschäft in Europa.
- 2. Risikosicherung in der Lieferkette**  
Strukturierte Produktdaten machen Risiken früher sichtbar, etwa bei kritischen Rohstoffen, CO<sub>2</sub>-intensiven Vorprodukten oder fehlenden Reparaturinformationen. Bei Lieferengpässen, Qualitätsproblemen oder neuen Vorgaben zeigt der DPP schneller, welche Produkte, Chargen und



**Der Digitale Produktpass ist mehr als eine Compliance-Anforderung – er kann als Werttreiber für Wettbewerb, Lieferkette, Standardisierung und zukunftsfähige Geschäftsmodelle fungieren.**

Bild: ©Fajir/stock.adobe.com (generiert mit KI)

Lieferanten betroffen sind und welche Alternativen bestehen. Auch die Produktentwicklung profitiert: Konstrukteure erkennen früh, welche Materialien die Kreislauffähigkeit erhöhen und welche künftige regulatorische Schwellen verfehlen können.

### 3. Effizienzsteigerung durch Standardisierung

Ein sauber aufgebauter DPP senkt die Kosten der Nachweisführung, da Produktdaten nicht mehr für jede Kundenanfrage, Auditierung oder Ausschreibung neu zusammengestellt werden müssen. Standardisierte Schnittstellen verringern Redundanzen entlang der Wertschöpfungskette und ermöglichen automatisierbare Berichtsprozesse.

### 4. Neue Geschäftsmodelle und Kundeninteraktion

Wer einen belastbaren Nachweis erbringen kann, dass ein Produkt langlebiger, reparierbarer oder emissionsärmer ist, verkauft keine bloße Nachhaltigkeitsbotschaft mehr, sondern eine prüfbare Produkteigenschaft. Dieses Argument hat im Vertrieb und in Ausschreibungen zunehmend Gewicht. Im Aftermarket kann aus Produkttransparenz konkreter Geschäftswert entstehen: Maschinen, Batterien, Elektronikmodule und Bauprodukte behalten ihren Wert länger, wenn Ersatzteile sowie Informationen zur Wartungshistorie, Demontage und Materialzusammensetzung verfügbar sind. Das erleichtert Prozesse rund um Reparatur, Refurbishment und Recycling und ermöglicht neue Geschäftsmodelle. So können Hersteller Serviceverträge präziser kalkulieren oder Rücknahmeprogramme etablieren – und damit den Kundenkontakt über die gesamte Nutzungsphase aufrechterhalten sowie perspektivisch zur Sicherung von Sekundärmaterialien beitragen.

## Wo Unternehmen heute stehen

Produktdaten wurden in der Regel nicht mit dem Ziel der Transparenz oder Wiederverwendung erstellt, sondern sind entlang von Funktionen, Systemen und Lieferantenschnittstellen gewachsen. Die geforderten Informationen liegen heute typischerweise verstreut vor: Stücklisten im Produktlebenszyklus-Management (PLM), kaufmännische Daten im Enterprise-Resource-Planning-System (ERP), Produktinformationen im Product-Information-Management-System (PIM) oder Produktionsdaten im Manufacturing-Execution-System (MES). Materialzusammensetzungen und Herkunftsnachweise stecken zudem oft tief in der Lieferkette und sind über mehrere Stufen hinweg schwer zugänglich. Betroffen sind nicht nur regulierte Her-

steller, sondern auch Zulieferer, die zunehmend mit Datenanfragen ihrer Kunden konfrontiert werden.

Der DPP erfordert den Wechsel von teils verstreuten Dokumenten zu strukturierten, eindeutig identifizierbaren Produktdaten. Damit bietet er Potenzial, mittelfristig Aufwände für Datenpflege zu senken und Prozesse automatisierbar zu machen. Denn eine konsolidierte, harmonisierte Datenbasis ist die Voraussetzung für effizientere Abläufe in Einkauf, Produktion und Vertrieb – und für eine ohnehin anstehende Nachhaltigkeitsberichterstattung. Wichtig ist dabei die Integration in die bestehende Systemlandschaft: Werden DPP-Daten über APIs an bestehende Quellsysteme wie ERP, PLM, MES oder LCA-Tools angebunden und entlang interoperabler Datenmodelle und Dataspace-Standards, etwa Catena-X, bereitgestellt, lassen sich Produktinformationen automatisiert, konsistent und kontrolliert erzeugen und austauschen.

## Strategisch vorgehen

Der entscheidende Perspektivwechsel beginnt vor der ersten Tool-Entscheidung. Unternehmen sollten den DPP nicht als Pflichtübung begreifen, sondern als Anlass, ihre Produktdaten über Abteilungs- und Systemgrenzen hinweg neu zu ordnen. Am Anfang steht deshalb keine Software, sondern eine klare Priorisierung: Welche Produktgruppen sind betroffen, welche Kundenanforderungen bestehen bereits, welche Anwendungsfälle schaffen über Compliance hinaus Wert? Daraus entsteht eine Datenlandkarte, die Informationen, Systeme, Datenqualität und Lücken sichtbar macht.

Anschließend geht es um Integration. Entscheidend sind nicht allein Schnittstellen, sondern harmonisierte, semantische Datenmodelle. Künstliche Intelligenz kann Harmonisierung und Qualitätssicherung unterstützen, ersetzt aber keine fachliche Verantwortung. Der Aufbau eines DPP wird damit zur unternehmensweiten Transformationsaufgabe – von der Produktentwicklung über den Einkauf bis zum Vertrieb und Aftermarket. Wer jetzt anfängt, Produktdaten zu strukturieren, schafft die Grundlage für effizientere Abläufe, belastbarere Nachweise und neue Geschäftsmodelle im Aftermarket. Der DPP ist der Anlass – der Nutzen reicht weit darüber hinaus. **« KIS**

Alexander Holst und Dr. Thomas Melde sind Managing Directors bei Accenture.

**PERSPEKTIV-  
WECHSEL BEGINNT VOR  
DER ERSTEN TOOL-  
ENTSCHEIDUNG.**



**Der DPP soll Hersteller, Importeure und Händler verpflichten, für bestimmte Produktgruppen standardisierte, maschinenlesbare Informationen entlang des gesamten Lebenszyklus eines Produkts bereitzustellen.**

Bild: ©diowcnx/stock.adobe.com (generiert mit KI)

# VON ANWENDER FÜR ANWENDER

Vom 22. bis 24. Juni fand im Lufthansa-Konferenzzentrum Seeheim die diesjährige Siemens PLM Connection statt. Die Konferenz der PLM-Benutzergruppe e. V. zeigte, wie künstliche Intelligenz bereits heute im Product-Lifecycle-Management (PLM) eingesetzt wird. Im Fokus standen praxisnahe Einblicke aus Industrie und Forschung sowie die Frage, wie sich die Zusammenarbeit zwischen Mensch und KI im Engineering künftig gestaltet. Wir sprachen nach der Veranstaltung mit Thorsten Kusnik, dem zweiten Vorsitzenden der PLM-Benutzergruppe e.V.

**?** Digital Engineering Magazin (DEM): Herr Kusnik, was waren aus Ihrer Sicht die wichtigsten Erkenntnisse und Highlights der Siemens PLM Connection 2026?

**THORSTEN KUSNIK:** Die diesjährige Siemens PLM Connection hat gezeigt, dass PLM heute weit über die klassische Datenverwaltung hinausgeht. Im Mittelpunkt standen Themen wie Digital Thread, künstliche Intelligenz, Model Based Engineering, Digital Twin und Cloud-Strategien. Mit über 90 Vorträgen, Workshops und Roundtables bot die Veranstaltung einen umfassenden Einblick in aktuelle Entwicklungen.

Ein Alleinstellungsmerkmal ist der Grundsatz ‚Von Anwender für Anwender‘. Die Konferenz lebt vom offenen Erfahrungsaustausch zwischen Unternehmen, Experten, Partnern und Siemens. Praxisnahe Anwendungsfälle aus den Bereichen Model-Based Definition, Wire Harness, Integrated Material Management, Simulation, Produktkonfiguration und Additive Manufacturing standen dabei im Vordergrund.

**?** DEM: Welche Themen haben die Teilnehmerinnen und Teilnehmer besonders beschäftigt?

**KUSNIK:** Viele Diskussionen drehten sich um die Frage, wie Engineering- und Produktdaten so strukturiert werden können, dass sie künftig für Automatisierung, KI und durchgängige digitale Prozesse nutzbar sind.

Darüber hinaus standen Cloud- und SaaS-Strategien, Active Workspace, CAD-/PLM-Integration, ECAD/MCAD-Zusammenarbeit, Polarion, Simulation, Fertigung und NX CAM im Fokus. Die Anwender betrachten zuneh-

mend den gesamten End-to-End-Prozess – von der Anforderung über Entwicklung und Produktion bis hin zum Service.

**?** DEM: Welche KI-Anwendungen für Konstruktion und Produktentwicklung standen im Fokus?

**KUSNIK:** KI war eines der zentralen Themen der Veranstaltung. Besonders betrachtet wurden Anwendungen zur Analyse von PLM-Daten, Unterstützung im Testmanagement sowie zur Strukturierung und Aufbereitung von Produktinformationen für künftige KI-Szenarien.

Gleichzeitig wurde deutlich: KI ist nur so gut wie die zugrunde liegenden Daten. Konsistente Produktstrukturen, klare Verantwort-



**THORSTEN KUSNIK**

ist zweiter Vorsitzender der PLM-Benutzergruppe e.V. und PLM Solution Architect bei Robert Bosch Hausgeräte.



**» DER WICHTIGSTE TREND IST DIE ENTWICKLUNG HIN ZU EINEM INTEGRIERTEN ENGINEERING-ÖKOSYSTEM.«**

lichkeiten und ein durchgängiger Digital Thread bilden die Voraussetzung für erfolgreiche KI-Anwendungen im Engineering.

**?** DEM: Welche Rolle spielte der digitale Zwilling?

**KUSNIK:** Auch hier stand das Zusammenspiel des digitalen Zwillings und KI im Fokus. Die Praxisberichte machten deutlich, dass er nur entstehen kann, wenn CAD-, PLM-, Simulations-, Fertigungs- und Anforderungsdaten durchgängig miteinander verknüpft sind, und nur so wird er für KI zur unverzichtbaren Datenquelle.

Während einige Unternehmen bereits fortgeschrittene Digital-Twin-Konzepte einsetzen, arbeiten andere noch an der Harmonisierung ihrer Datenmodelle und Prozesse. Viele Anwender verfolgen dabei einen schrittweisen Ausbau entlang konkreter Anwendungsfälle.



Rund 850 Teilnehmer und Teilnehmerinnen besuchten die Siemens PLM Connection 2026 und nutzten die Veranstaltung zum Networking sowie zum Austausch mit Partnern und Experten.

**? DEM: Welche Lösungsansätze zur Verkürzung von Entwicklungszeiten und zur Verbesserung der Nachhaltigkeit wurden diskutiert?**

**► KUSNIK:** Als Schlüssel wurde die konsequente Integration von Daten und Prozessen identifiziert. Entwicklungszeiten lassen sich vor allem dann reduzieren, wenn Informationen nicht mehrfach erfasst oder manuell übertragen werden müssen.

Gleichzeitig gewinnt Nachhaltigkeit im Engineering an Bedeutung. Material-, Produkt-

und Compliance-Daten müssen frühzeitig verfügbar sein, um fundierte Entscheidungen während der Entwicklung treffen zu können.

**? DEM: Gab es Praxisberichte, die besonders positiv aufgenommen wurden?**

**► KUSNIK:** Besonders gefragt waren wie jedes Jahr Anwenderberichte, die konkrete Projekte und Herausforderungen offen beschreiben. Große Resonanz fanden unter anderem Vorträge zu MBD, Teamcenter-Implementierungen, Wire Harness, Produktkonfiguration und Requirements Management. Traditionell gehörten auch die „What's New“-Sessions zu NX CAD und CAM zu den Publikumsmagneten. Sehr positiv bewertet wurden zudem die Hands-on-Workshops, die den Teilnehmern die Möglichkeit boten, Technologien direkt praktisch zu erleben.

**? DEM: Welche Trends erkennen Sie bei der Integration von CAD, PLM, Simulation und Fertigung?**

**► KUSNIK:** Der wichtigste Trend ist die Entwicklung hin zu einem integrierten Engineering-Ökosystem. Einzelne Tools werden zunehmend über einen durchgängigen Datenfluss verbunden, sodass sich Informationen über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg konsistent nutzen lassen.

Die Vielzahl an Vorträgen zu Teamcenter, MBD, Simulation, Polarion, ECAD und Ferti-

**» KONSTRUKTEURE SOLLTEN IHRE ARBEIT ZUNEHMEND ALS TEIL EINES DURCHGÄNGIGEN DIGITALEN WERTSTROMS VERSTEHEN.«**



Ausstellung der Siemens PLM Connection 2026 mit 29 Partnerunternehmen. Die Fachausstellung bot den Teilnehmenden Gelegenheit zum Austausch über aktuelle Lösungen und Innovationen rund um Siemens Digital Industries Software. Bilder: IC Media

gung verdeutlichte, dass Integration heute als strategischer Erfolgsfaktor betrachtet wird.

**? DEM: Welche Herausforderungen beschäftigen PLM-Anwender derzeit am stärksten?**

**► KUSNIK:** Technologische Themen wie Cloud und KI sind wichtig, die größeren Herausforderungen liegen jedoch häufig in den Bereichen Datenmanagement, Governance und Zusammenarbeit.

Viele Unternehmen erkennen, dass neue Technologien allein keine Transformation bewirken. Erst harmonisierte Prozesse, standardisierte Datenmodelle und klare Verantwortlichkeiten schaffen die Voraussetzungen für einen erfolgreichen Digital Thread und eine nachhaltige Nutzung von KI.

**? DEM: Welche Impulse sollten Konstrukteure und Produktentwickler mitnehmen?**

**► KUSNIK:** Konstrukteure sollten ihre Arbeit zunehmend als Teil eines durchgängigen digitalen Wertstroms verstehen. Engineering-Daten bilden die Grundlage für Simulation, Fertigung, Qualität, Compliance und zukünftige KI-Anwendungen. KI ersetzt kein PLM-System oder den Konstrukteur, aber sie schafft Möglichkeiten, die Arbeit schneller und effizienter und sicherer zu erledigen.

Datenqualität, Wiederverwendbarkeit und Änderungsmanagement werden daher zu entscheidenden Erfolgsfaktoren. Unternehmen, die diese Grundlagen beherrschen, können deutlich schneller und effizienter entwickeln.

**? DEM: Welche Entwicklungen werden die Arbeit von Konstrukteuren und Produktentwicklern in den nächsten Jahren am stärksten verändern?**

**► KUSNIK:** Die größten Veränderungen werden sich durch künstliche Intelligenz, modellbasierte Entwicklung, Digital Thread sowie steigende Compliance- und Nachhaltigkeitsanforderungen ergeben.

Der Konstrukteur entwickelt sich zunehmend vom reinen CAD-Anwender zum Gestalter eines digitalen Produktmodells über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Unternehmen, die heute in konsistente PLM-Strukturen, standardisierte Prozesse und KI-fähige Daten investieren, schaffen die Grundlage für nachhaltige Wettbewerbsfähigkeit.

**? DEM: Herr Kusnik, vielen Dank für die spannenden Einblicke.**

Die Fragen stellte Rainer Trummer.

# CYBER RESILIENCE ACT: NEUE PFLICHTEN FÜR HERSTELLER

Ab dem 11. September 2026 gelten für Hersteller vernetzter Produkte neue rechtlich verbindliche Vorgaben.

Mit dem Cyber Resilience Act (CRA) hat die Europäische Union erstmals einen umfassenden Rechtsrahmen geschaffen, der Cybersicherheitsanforderungen für Produkte mit digitalen Komponenten definiert. » VON JAN C. WENDENBURG



Bild: ©Vadym/stockadobe.com (generiert mit KI)

## HERSTELLER MÜSSEN IHRE PRODUKTE AUCH NACH DER MARKT-EINFÜHRUNG ÜBERWACHEN.

gelegter Fristen an die zuständigen Behörden melden. Dafür wird eine zentrale europäische Meldeplattform eingerichtet.

Ab dem 11. Dezember 2027 werden sämtliche Anforderungen des CRA verbindlich. Produkte mit digitalen Komponenten dürfen dann nur noch in der EU vermarktet werden, wenn sie die vorgeschriebenen Sicherheitsanforderungen erfüllen, darunter Security-by-Design, regelmäßige Sicherheitsupdates und ein dokumentiertes Risikomanagement. Zudem ist eine Konformitätsbewertung erforderlich; bei besonders kritischen Produkten muss diese durch unabhängige Prüfstellen erfolgen.

**D**er Cyber Resilience Act zielt darauf ab, die Sicherheit vernetzter Geräte, Maschinen und Softwarelösungen über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg zu erhöhen. Die Verordnung betrifft einen Großteil der digitalen Produkte auf dem europäischen Markt. Schätzungen zufolge fallen Hunderte von Millionen, eventuell sogar Milliarden von Geräten innerhalb der EU unter die neuen Anforderungen.

Hintergrund des CRA ist die zunehmende Bedeutung digitaler Technologien in Industrie und Alltag. Vernetzte Systeme sind heute fester Bestandteil von Produktionsanlagen, Infrastruktur, Fahrzeugen und Konsumgütern. Allerdings werden Sicherheitslücken häufig erst spät erkannt oder bleiben über längere Zeit ungepatcht. Der CRA soll diesem Problem begegnen, indem Hersteller verpflichtet werden, Cybersicherheit bereits während der Entwicklung ihrer Produkte zu berücksichtigen und diese kontinuierlich zu überwachen.

### Der Zeitplan des Cyber Resilience Act

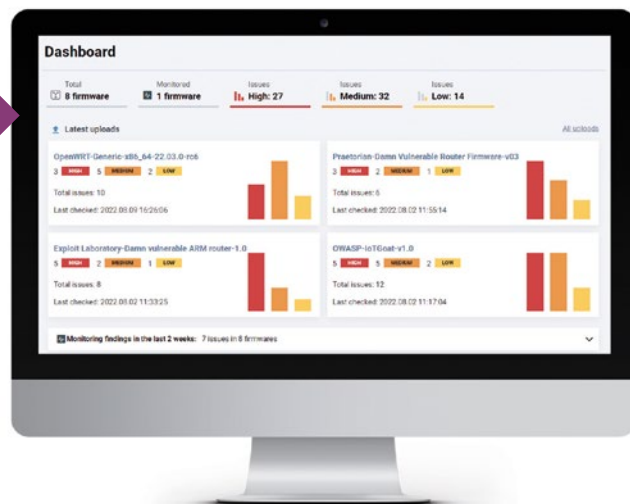
Der CRA ist am 10. Dezember 2024 in Kraft getreten und wird schrittweise umgesetzt. Die erste wichtige Frist gilt ab dem 11. September 2026: Hersteller müssen dann aktiv ausgenutzte Schwachstellen und schwerwiegende Sicherheitsvorfälle innerhalb fest-

### Neue Anforderungen an Hersteller

Der CRA verpflichtet Unternehmen, Schwachstellen über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg systematisch zu identifizieren, zu bewerten und zu beheben. Sicherheitsanforderungen müssen bereits in der Entwicklungsphase berücksichtigt

Mit der Plattform Onekey erhalten Unternehmen umfassenden Schutz von der Entwicklung bis zum Ende der Lebensdauer. Die Plattform bietet kontinuierliche Überwachung, automatisiertes Schwachstellenmanagement und regelmäßige Updates, um Produkte vor neuen Bedrohungen zu schützen.

Bild: Onekey



und entsprechende Prozesse dokumentiert werden.

Zudem fordert die Verordnung Transparenz über eingesetzte Softwarekomponenten. Hersteller müssen sogenannte Software Bills of Materials (SBOMs) erstellen, die alle verwendeten Programme, Bibliotheken und Abhängigkeiten einschließlich relevanter Versions- und Sicherheitsinformationen dokumentieren. Dadurch sollen Risiken in der Softwarelieferkette schneller erkannt werden.

## Warum Software-Stücklisten zur Herausforderung werden

Die Erstellung und Pflege von SBOMs ist in der Praxis oft anspruchsvoll. Moderne Produkte enthalten zahlreiche Softwarekomponenten aus unterschiedlichen Quellen – von Open-Source-Software bis hin zu Modulen von Zulieferern. Häufig sind die benötigten Informationen unvollständig oder über verschiedene Systeme verteilt. Die Dokumentation und Aktualisierung der Daten verursacht daher zusätzlichen Aufwand, insbesondere bei komplexen Produkten und langen Lieferketten.

## Kontinuierliche Überwachung wird Pflicht

Neben der Dokumentation verlangt der CRA ein kontinuierliches Schwachstellenmanagement. Hersteller müssen Sicherheitslücken erkennen, bewerten und zeitnah beheben sowie ihre Produkte auch nach der Markteinführung überwachen, um neue Risiken frühzeitig zu identifizieren. Besondere Bedeutung kommt dabei der Softwarelieferkette zu, da Schwachstellen häufig in Drittanbieter-Komponenten, Bibliotheken oder Frameworks entstehen. Deshalb fordert der CRA neben technischen Schutzmaßnahmen auch dokumentierte Prozesse für Risikomanagement, Meldepflichten und Compliance-Nachweise.

## Unternehmen müssen Prozesse anpassen

Für viele Hersteller bedeutet die Umsetzung der Verordnung erhebliche organisatorische und technische Veränderungen. Insbesondere Unternehmen mit komplexen Produktportfolios oder weit verzweigten Softwarelieferketten müssen ihre Entwicklungs- und Sicherheitsprozesse überprüfen und anpassen. Häufig besteht zunächst Unsicherheit darüber, welche Produkte konkret unter die Verordnung fallen und welche Anforderungen im Einzelfall erfüllt werden müssen.

## SCHWACHSTELLEN LAUERN HÄUFIG IN DRITTANBIETER-KOMPONENTEN.

Hinzu kommt, dass viele bestehende Systeme nicht auf eine kontinuierliche Überwachung von Softwarekomponenten ausgelegt sind. Ohne automatisierte Analyse- und Monitoringverfahren wäre die manuelle Prüfung sämtlicher Komponenten kaum praktikabel. Darüber hinaus müssen Unternehmen sicherstellen, dass Sicherheitsmaßnahmen über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg aufrechterhalten werden können – von der Entwicklung über Wartung und Updates bis hin zum langfristigen Support.

## Strukturierter Weg zur CRA-Compliance

Um Unternehmen bei der Umsetzung des CRA zu unterstützen, wurden verschiedene Vorgehensmodelle entwickelt. Ein Beispiel ist „CRA Fast Start“ von Onekey, das Herstellern einen strukturierten Einstieg in die CRA-Compliance ermöglichen soll. Den Ausgangspunkt bildet ein CRA Readiness Assessment. Dabei werden bestehende Prozesse, Dokumentationsstrukturen und Verantwortlichkeiten analysiert, um Compliance-Lücken zu identifizieren und priorisierte Maßnahmen abzuleiten.

Eine zentrale Grundlage ist die Erstellung von Software-Stücklisten (SBOMs), die Trans-

parenz über die Softwarelieferkette schaffen und Sicherheitsanalysen ermöglichen. Darauf aufbauend unterstützt ein systematisches Vulnerability Management die automatisierte Identifikation und Bewertung von Schwachstellen. Ergänzend sorgt ein kontinuierliches Monitoring der Softwarekomponenten dafür, neue Sicherheitslücken frühzeitig zu erkennen und Veränderungen in der Lieferkette nachvollziehbar zu machen.

## Mehr Sicherheit bedeutet mehr Verantwortung

Der CRA schafft erstmals verbindliche Cybersicherheitsstandards für vernetzte Produkte und verpflichtet Hersteller zu einem ganzheitlichen Sicherheitsmanagement über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg. Damit steigen zwar die Anforderungen an Prozesse, Dokumentation und Schwachstellenmanagement. Gleichzeitig wird Cybersicherheit zu einem festen Bestandteil der Produktentwicklung – und damit zu einem entscheidenden Faktor für sichere und zukunftsfähige digitale Produkte. **« KIS**

Jan C. Wendenburg ist Geschäftsführer von Onekey.

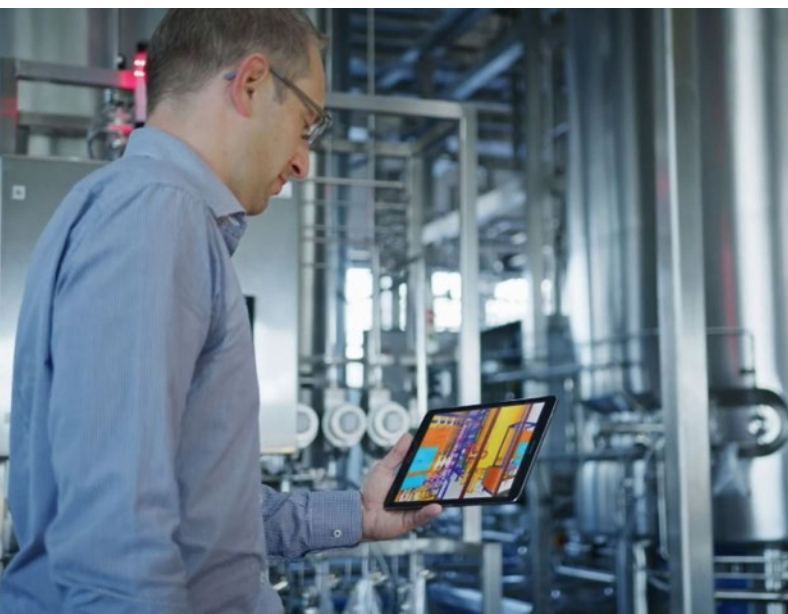


Darstellung des Product Security Lifecycle vor dem Hintergrund des CRA.

Bild: Onekey

# ERST KOMMT DAS SCHEITERN, DANN DER ERFOLG

In der Vergangenheit brachten produzierende Unternehmen ihren Ingenieuren bei, nicht zu viele Fragen zu stellen. Das war damals völlig rational. Wenn jedes „Was-wäre-wenn“ einen physischen Prototyp erfordert – mit Kosten von einer Million Euro und sechs Monaten Entwicklungszeit pro Experiment –, lernt man: erst nachdenken und nur die essenziellen Fragen stellen. » VON MARK HINDSBO



**Mobile Visualisierung und Überwachung von Prozessanlagen: Betriebsdaten und Anlagenzustände stehen dem Bedien- und Wartungspersonal direkt vor Ort auf mobilen Endgeräten zur Verfügung.**

**D**as Paradigma, möglichst wenige Fragen zu stellen, hat sich lange bewährt. Doch die Zeiten haben sich geändert, und unsere Denkweise muss sich anpassen – denn Neugier ist der Motor jedes industriellen Fortschritts. Wir sollten die Neugier von Kindern haben und eine Million „Was-wäre-wenn“-Fragen stellen.

## Der Crashtest, den Fabriken nie durchlaufen haben

Betrachten wir, wie die Automobilindustrie heute Fahrzeuge testet: Für die Kosten eines einzigen physischen Crashtests führen Ingenieure zehntausende virtuelle Simulationen durch – Frontal- und Seitenkollisionen, Batterieverhalten, Fußgängerschutz. Sie erschließen den gesamten Designraum, lange bevor ein reales Fahrzeug gegen eine Wand fährt. Wir sind inzwischen extrem gut darin, Produkte digital zu durchdringen, bevor wir sie physisch bauen. Jetzt ist es an der Zeit, unsere Fabriken genauso zu behandeln wie diese Produkte.

Bei Siemens simulieren wir jede Veränderung, bevor wir eine Produktionslinie umbauen, Abläufe

anpassen oder neue Automatisierungstechnik einführen. Wir testen Modifikationen am digitalen Modell, identifizieren Probleme, solange ihre Behebung noch kostengünstig ist, und setzen sie erst danach in der realen Welt um. Das Ergebnis sind enorme Produktivitätssteigerungen. Zehntausend virtuelle Crashtests oder ein einziger realer: Die Automobilindustrie hat diese Entscheidung bereits vor Jahrzehnten getroffen – wir treffen sie jetzt für unsere Fabriken.

## Die Verschmelzung von virtueller und realer Welt

Ein Digitaler Zwilling ohne Anbindung an die reale Welt ist ein ansprechendes Modell, das sein Potenzial nicht ausschöpft. KI ohne direkte Verbindung zur Fabrik ist ein Assistenzsystem mit begrenztem Nutzen. Und Simulation ohne Integration in die Produktionsplanung ist letztlich nur ein Experiment. Mein Standpunkt ist klar: Der wahre Mehrwert entsteht nicht durch isolierte Technologien. Er entsteht durch Vernetzung – durch Operations Software für die industrielle Produktion, die das Ganze zu mehr macht als der Summe seiner Teile.

Operations Software bildet das Bindegewebe der modernen Fabrik. Sie verknüpft die physikalische Ebene – SPS, Antriebe, Sensoren, HMIs – mit den Systemen, die der Produktion ihre Intelligenz verleihen: Scada, MES, Digitale Zwillinge, KI sowie Simulations- und Planungstools. Um es konkret zu machen: Stellen Sie sich ein Ventil vor, das erste Verschleißerscheinungen zeigt. Ein Vibrationssignal allein ist wenig aussagekräftig. Doch im Kontext eines Digitalen Zwillings, der das exakte Normalverhalten dieses spezifischen Ventils in genau diesem Prozess und unter diesen Bedingungen kennt, lassen sich daraus fundierte und geschäftskritische Entscheidungen ableiten.

## KI ohne Fundament ist nur ein weiteres Dashboard

Die Industrie ist derzeit stark vom Thema KI geprägt. Wir müssen jedoch realistisch bleiben, was KI leisten kann und was nicht. KI arbeitet stochastisch (wahrscheinlichkeitsbasiert). Selbst bei einer Genauigkeit von 99 Prozent kann das verbleibende ein Prozent fatale Folgen haben. Deshalb darf und sollte KI nicht isoliert agieren. Sie benötigt eine deterministische Basis: das Simulationsmodell, den Digitalen Zwilling und die Automatisierungsinfrastruktur, die Fehler abfangen, bevor sie sich in der physischen Welt manifestieren. Die KI erkennt Muster. Der Digitale Zwilling validiert das Szenario. Das Automatisierungssystem führt es aus. Fehlt auch nur ein Glied, bricht die Kette. Wenn KI nicht in Handlungen übersetzt werden kann, bleibt sie eine reine Stimme aus dem Off.

**EIN EINZIGER  
PHYSISCHER CRASH-  
TEST ERFORDERT ZEHN-  
TAUSENDE VIRTUELLE  
SIMULATIONEN.**

## Die Brownfield-Realität: Der Weg zu absoluter Datentransparenz

Die wenigsten Fabriken entstehen auf der grünen Wiese. Sie sind gewachsene Strukturen: Maschinen, die erst gestern installiert wurden, arbeiten Seite an Seite mit Anlagen, die seit 30 oder 40 Jahren in Betrieb sind. Das ist jedoch kein Hindernis für Fortschritt. Vielmehr wird gezielt dort nachgerüstet, wo es sinnvoll ist – ein Schwingungssensor an einer in die Jahre gekommenen Presse, ein Temperatursensor an einem alten Wärmetauscher, ein Industrial-Edge-Device, das ältere SPS mit einer modernen Datenschicht verbindet. Der Schlüsselbegriff lautet Transparenz. Sobald die Daten fließen, beginnt das System zu „sehen“. Und ein System, das sehen kann, kann sich auch anpassen.

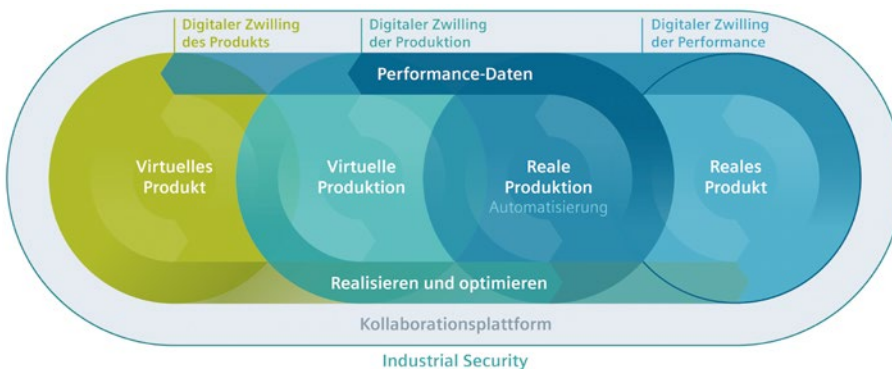
Der Markt für Operations Software hat heute ein Volumen von rund 30 Milliarden Euro und wird sich in den kommenden fünf Jahren voraussichtlich verdoppeln. Nearshoring, strenge Nachhaltigkeitsvorgaben, volatile Lieferketten und die zunehmende Personalisierung von Produkten: All diese Faktoren



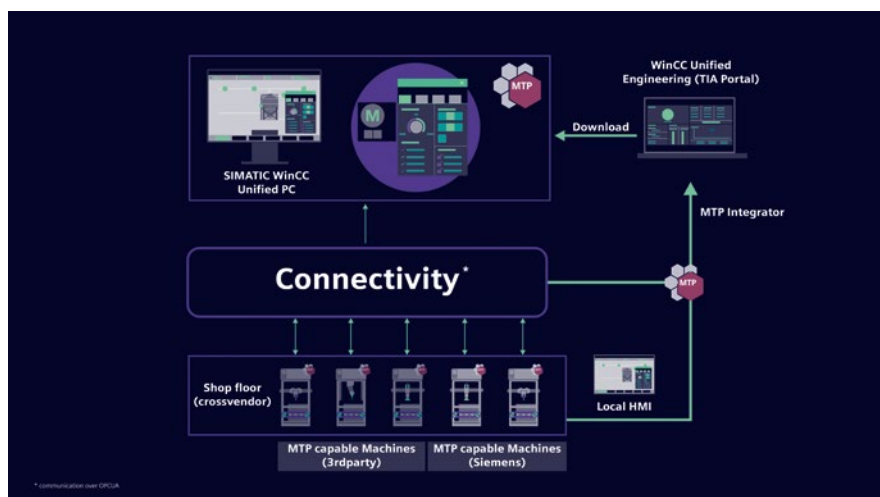
**Brownfield Connectivity Services unterstützen die Digitalisierung bestehender Produktionsanlagen, indem Maschinen- und Prozessdaten erfasst, integriert und für weiterführende Anwendungen verfügbar gemacht werden.**

Bilder: Siemens

## OPERATIONS SOFTWARE BILDET DAS BINDEGEWEBE DER MODERNEN FABRIK.



**Konzept der durchgängigen Digital-Twin-Integration über den Produktlebenszyklus.**



**MTP-basierte Integrationsarchitektur mit durchgängiger Connectivity zwischen MTP-fähigen Maschinen, lokalem HMI und zentralem Engineering in Simatic WinCC Unified.**

erfordern Fabriken, die sich wandeln können, ohne komplett neu gebaut werden müssen. Und sie erfordern Ingenieure, die in kürzerer Zeit mehr Fragen stellen können.

Genau hier setzt Operations Software an. Sie liefert die Daten, die Simulationsmodelle und den Echtzeitkontext, um Fragen zu stellen, deren Beantwortung früher schlicht zu teuer war. Eine fundiert beantwortete Frage wird so zur Blaupause für viele weitere. Dabei muss jeder Schritt auf dasselbe Ziel einzahlen: eine Fabrik, die hochgradig anpassungsfähig für die Anforderungen von morgen ist.

## Fazit: Mehr Fragen führen zu besseren Antworten

Unsere heutigen Fabrikautomatisierungssysteme basieren auf jahrzehntelangem Ingenieurwissen, industrieller Erfahrung und kontinuierlicher Verbesserung. Diese Systeme bilden das Fundament für die nächste industrielle Ära. Und diese neue Ära beginnt damit, dass Ingenieure in der Lage sind, Fragen in einem nie dagewesenen Maßstab zu stellen. Nicht nur zwei Fragen. Nicht nur die am sorgfältigsten ausgewählten. Sondern eine Million davon – digital validiert und umgesetzt von Systemen, die jede Ebene der Fabrik zu einem einzigen adaptiven Ganzen verschmelzen. Die entscheidende Ausgangsfrage lautet daher: „An welcher Stelle in Ihrer Fabrik haben Sie aufgehört, Fragen zu stellen – einfach, weil die Antworten darauf zu teuer gewesen wären?“ Genau hier beginnt die nächste industrielle Transformation.

« KIS

**Mark Hindsbo** ist Head of Operations Software bei Siemens Digital Industries.

# VON SILOS ZU SYNCHRONISATION

Künstliche Intelligenz hat die Produktivität von Mitarbeitern in Entwicklung, Produktmanagement und Design deutlich gesteigert. Die Herausforderung besteht nun darin, diese individuellen Effizienzgewinne in einen messbaren Mehrwert für ganze Organisationen zu überführen. » VON TOBIAS SCHMIDT

**G**enau darin liegt derzeit eine der wichtigsten Aufgaben moderner Produktentwicklung: Die technischen Hürden für Analyse, Prototyping und Umsetzung sinken, während die Zahl möglicher Ideen, Anforderungen und Handlungsoptionen wächst. Für Unternehmen wird es dadurch immer wichtiger, aus einer wachsenden Menge an Informationen die richtigen Schlüsse zu ziehen und Ressourcen gezielt einzusetzen. Der entscheidende Unterschied entsteht nicht mehr allein durch die Geschwindigkeit einzelner Arbeitsschritte, sondern durch die Fähigkeit, Orientierung zu schaffen und gemeinsam die richtigen Entscheidungen zu treffen.

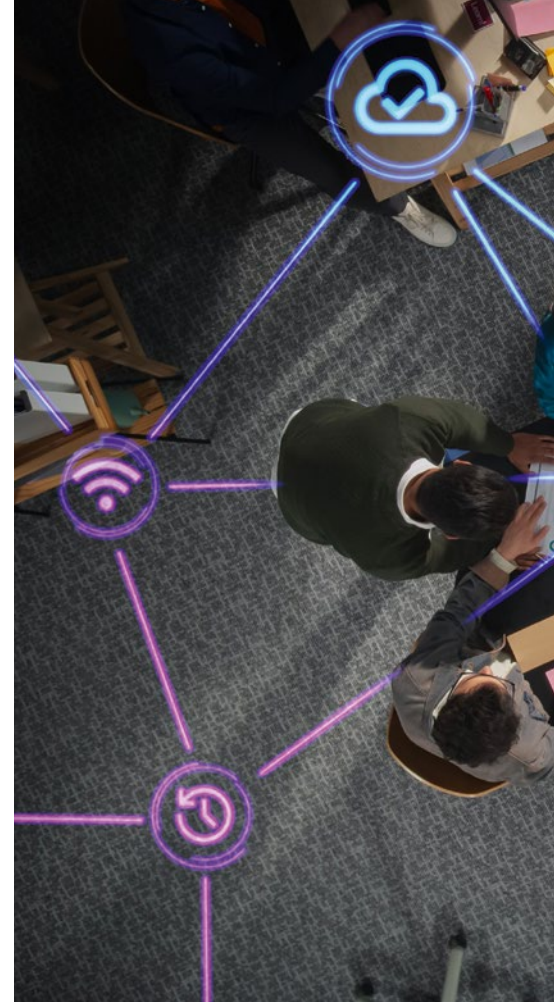
## Der Engpass liegt nicht mehr in der Umsetzung, sondern in der grundlegenden Entscheidung

Nur, weil etwas technisch umsetzbar ist, bedeutet das noch nicht, dass es auch entwickelt werden sollte. Die Fähigkeit, schnell-

ler zu entwickeln, schafft nur dann einen Wettbewerbsvorteil, wenn Teams gleichzeitig bessere Entscheidungen treffen. Mit der zunehmenden Verbreitung von KI in Innovationsprozessen verschiebt sich der zentrale Engpass daher von der Umsetzung hin zur Entscheidungsfindung. Nicht die Geschwindigkeit der Entwicklung bestimmt den Erfolg, sondern die Fähigkeit, die richtigen Prioritäten zu setzen und Ressourcen gezielt einzusetzen.

Dies zeigt sich auch in Ergebnissen aktueller Befragungen. So sehen 89 Prozent der von Forrester Consulting befragten Führungskräfte eine bessere Zusammenarbeit als entscheidend für das Erreichen ihrer Unter-

**— RUND EIN DRITTEL DER FÜHRUNGSKRÄFTE, DASS BESTEHENDE KI-INITIATIVEN BEREITS EXISTENTE SILOSTRUKTUREN SOGAR VERSTÄRKEN. —**



nehmensziele. Gleichzeitig nennen 46 Prozent Schwierigkeiten bei der Priorisierung von Initiativen als zentrales Hindernis für den Erfolg ihrer Teams. Führungskräfte aus Produktentwicklung und Innovation sehen den größten Verbesserungsbedarf daher nicht in der eigentlichen Umsetzung, sondern in den frühen Phasen des Entwicklungsprozesses – bei der Ideengenerierung, Bewertung und Marktvalidierung.<sup>1,2</sup>

## Wenn alle schneller werden, aber in unterschiedliche Richtungen laufen

Die Ursache liegt häufig in der Art und Weise, wie KI heute genutzt wird. Erkenntnisse entstehen oftmals in isolierten Systemen und bleiben damit nur im Kontext einzelner Personen. Drei Viertel der befragten Führungskräfte sind der Ansicht, dass heutige KI-Werkzeuge zu stark auf individuelle Produktivität statt auf Teamarbeit ausgerichtet sind. Gleichzeitig berichten 69 Prozent, dass der Wechsel zwischen verschiedenen Arbeits- und KI-Anwendungen Reibungsverluste verursacht.<sup>1,2</sup> Teams erkennen dadurch oft erst



Gemeinsame Entscheidungen statt isolierter Erkenntnisse: KI entfaltet ihren größten Mehrwert dort, wo Teams Wissen synchronisieren und gemeinsam Prioritäten setzen

Bild: Miro



82 Prozent der von Forrester befragten Führungskräfte interessieren sich für KI-Lösungen, die gezielt die Zusammenarbeit auf Teamebene unterstützen.

Bild: © Gorodenkoff/stock.adobe.com

## Führungskräfte schaffen die Voraussetzungen

Ob KI einen nachhaltigen Beitrag zur Wertschöpfung leistet, hängt weniger von einzelnen Werkzeugen als von organisatorischen Rahmenbedingungen ab. Entsprechend interessieren sich bereits 82 Prozent der von Forrester befragten Führungskräfte für KI-Lösungen, die gezielt die Zusammenarbeit auf Teamebene unterstützen.<sup>2</sup>

Wesentlich sind dabei drei Prinzipien: KI zunächst in klar abgegrenzten Anwendungsfällen einsetzen, gemeinsames Wissen als strategische Ressource pflegen und Erfolg daran messen, wie gut Teams zu fundierten Entscheidungen gelangen.

## FÜR UNTERNEHMEN WIRD DESHALB EINE ANDERE FRAGE IMMER WICHTIGER: WIE KANN KI DIE ZUSAMMENARBEIT VERBESSERN - UND NICHT NUR DIE LEISTUNG EINZELNER PERSONEN?

### Fazit: KI gezielt integrieren

KI entfaltet ihren größten Wert nicht dort, wo einzelne Aufgaben schneller erledigt werden, sondern dort, wo sie gemeinsames Verständnis schafft. In Entwicklungsumgebungen mit zahlreichen Abhängigkeiten, Beteiligten und Datenquellen wird die Fähigkeit, Wissen und Entscheidungen zu synchronisieren, zum entscheidenden Erfolgsfaktor. Unternehmen, die KI gezielt in ihre Entwicklungs- und Entscheidungsprozesse integrieren, schaffen die Grundlage für schnellere Abstimmung, fundiertere Entscheidungen und wirksamere Innovation.

« KF

Tobias Schmidt ist Head of DACH bei Miro.

<sup>1</sup> Harvard Business Review Analytic Services, Befragung von Entscheidungsträgern in der Produktentwicklung, im Auftrag von Miro, September 2025.

<sup>2</sup> Forrester Consulting, „AI Workflows for Team Innovation“, Befragung von Führungskräften aus Engineering, Produktmanagement und Design, im Auftrag von Miro, Q3 2025.

<sup>3</sup> Miro, „AI at Work: What Your Product Org Wants You to Know“, Befragung von mehr als 2.000 Fachkräften aus Produktmanagement, Engineering und Design, 2026.

<sup>4</sup> Miro, „Momentum at Work 2025“, Befragung von über 6.000 Vollzeitbeschäftigten Wissensarbeitenden in acht Ländern, Juni/Juli 2025.

spät, dass unterschiedliche Annahmen getroffen oder Prioritäten verschieden bewertet wurden. Für Unternehmen wird deshalb eine andere Frage immer wichtiger: Wie kann KI die Zusammenarbeit verbessern – und nicht nur die Leistung einzelner Personen?

Genau hier zeigt sich eine aktuelle Lücke. In einer Befragung von mehr als 2.000 Fachkräften aus Produktmanagement, Engineering und Design gibt lediglich ein Viertel der Befragten an, dass KI ihre Zusammenarbeit verbessert hat.<sup>3</sup> Gleichzeitig berichten rund ein Drittel der Führungskräfte, dass bestehende KI-Initiativen bereits existente Silostrukturen sogar verstärken.<sup>1,2</sup>

### Drei Hebel, um KI von der individuellen zur Teamwirkung zu transformieren

Wer KI nachhaltig nutzen möchte, sollte sie dort verankern, wo Entscheidungen getroffen werden und Zusammenarbeit wirklich stattfindet. Besonders entscheidend sind dabei drei Punkte.

#### 1. Priorisierung auf Basis gemeinsamer Erkenntnisse:

Die Menge verfügbarer Informationen wächst kontinuierlich. Gleichzeitig sehen 63 Prozent der Beschäftigten Informationssilos als Hindernis für effektive Zusammenarbeit, 55 Prozent berichten von Kommunikationsproblemen zwischen Teams.<sup>4</sup> Werden Prioritäten transparent geteilt und mit den zugrunde liegenden Daten verknüpft, können Teams fundier-

tere Entscheidungen treffen und Risiken frühzeitig erkennen.

#### 2. Prototypen als Werkzeug zur Entscheidungsfindung nutzen:

KI beschleunigt die Erstellung von Prototypen erheblich. Ihr größter Nutzen liegt jedoch nicht in der Geschwindigkeit, sondern darin, Ideen früher sichtbar und diskutierbar zu machen. Werden unterschiedliche Varianten in einem gemeinsamen Arbeitskontext zusammengeführt, können Entwicklung, Produktmanagement und weitere Stakeholder Annahmen schneller validieren und fundierter entscheiden.

#### 3. Menschen und KI-Systemen den vollständigen Kontext bereitstellen:

KI-gestützte Entwicklungssysteme können nur auf Grundlage der Informationen arbeiten, die ihnen zur Verfügung stehen. Die Folgen fragmentierter Informationen sind längst spürbar: Mehr als die Hälfte der Beschäftigten in Deutschland gibt an, mehr zu arbeiten, dabei jedoch weniger zu erreichen. Als Ursachen nennen sie unter anderem veraltete Werkzeuge sowie mangelnde Abstimmung.<sup>4</sup> Architekturentscheidungen, Anforderungen und Projekterkenntnisse müssen deshalb konsistent verfügbar sein. Konzepte wie das Model Context Protocol (MCP) gewinnen hier an Bedeutung, weil sie Kontextinformationen systemübergreifend zugänglich machen.

# ANGEBOTE IN MINUTEN STATT STUNDEN

Komplexe Produkte erfordern komplexe Vertriebsprozesse, doch genau diese werden schnell zum Engpass. RSP, Spezialist für Ventilator- und vakuumbasierte Saugsysteme, hat deshalb seinen Angebotsprozess grundlegend überarbeitet. Mit Camos CPQ entstehen technisch valide Angebote heute in wenigen Minuten statt mehreren Stunden, inklusive automatischer Regelprüfung und 3D-Visualisierung. » VON DANIEL KAISER



Die Saugbagger von RSP gibt es nicht von der Stange. Jedes Fahrzeug ist hochgradig individuell.

**R**SP mit Hauptsitz in Saalfeld entwickelt und produziert industrielle Spezialsaugbagger für anspruchsvolle Einsatzbereiche – von innerstädtischen Baustellen bis zur Freilegung sensibler Infrastruktur. Die Fahrzeuge sind hochgradig individuell: Mehr als 200 Konfigurationsoptionen, bis zu 14 unterschiedliche Fahrgestelltypen sowie zahlreiche technische Abhängigkeiten machen jede Konfiguration zu einem individuellen Projekt.

Mit wachsender Variantenvielfalt stieg denn auch die Komplexität im Vertrieb. Unterschiedliche Chassis, Ausstattungen und länderspezifische Vorschriften führten zu

langen Abstimmungen zwischen Vertrieb und Konstruktion. „Es gab keine automatische Kontrolle, ob eine Kombination überhaupt baubar ist. Jedes Angebot musste oft mehrfach von der Konstruktion überprüft werden“, beschreibt Robert Hohl, Projektmanager Sales bei RSP, die Ausgangslage.

» **ES GAB KEINE AUTOMATISCHE KONTROLLE, OB EINE KOMBINATION ÜBERHAUPT BAUBAR IST.**«

ROBERT HOHL

» **WAS FRÜHER STUNDEN GEDAURT HAT, ERLEDIGEN WIR HEUTE IN MINUTEN – UND KÖNNEN UNS ENDLICH AUF DEN KUNDEN KONZENTRIEREN.**«

ROBERT HOHL

## Vom manuellen Prozess zur digitalen Produktlogik

Um den Angebotsprozess zu standardisieren und technisch abzusichern, entschied sich RSP für die Einführung von Camos CPQ. Heute bildet die Lösung die Produktlogik zentral ab und prüft jede Konfiguration automatisiert auf technische Plausibilität. Vertriebssteams können dadurch Angebote erstellen, die nicht nur vollständig, sondern auch technisch realisierbar sind. Ein Standardangebot, das früher zwei Stunden benötigte, ist heute in rund zehn Minuten erstellt – technisch geprüft und vollständig validiert. „Was früher Stunden gedauert hat, erledigen wir heute in Minuten – und können uns endlich auf den Kunden konzentrieren“, sagt Robert Hohl. Rund 20 Vertriebsmitarbeitende sowie internationale Partner arbeiten inzwischen mit dem System – und das mit spürbarer Entlastung. Insgesamt erstellt RSP heute rund 1.000 Angebote pro Jahr über Camos CPQ.

## 3D-Visualisierung macht komplexe Produkte verständlich

Ein zentraler Bestandteil des neuen Angebotsprozesses ist die integrierte 3D-Visualisierung. Bereits während der Konfiguration sehen Kunden, wie ihr Fahrzeug später aussehen wird – inklusive Farbgestaltung, Designvarianten und individueller Ausstattungsmerkmale.



Um den Angebotsprozess zu standardisieren und technisch abzusichern, entschied sich RSP für die Einführung von Camos CPQ.



Insgesamt erstellt RSP heute rund 1.000 Angebote pro Jahr über Camos CP.

Bilder: RSP

Das schafft nicht nur Transparenz, sondern erleichtert auch die Abstimmung technischer Anforderungen. Vertriebsmitarbeitende können Kundenbedarfe früher konkretisieren und Varianten verständlicher vermitteln.

### Teil einer durchgängigen Digitalstrategie

Die Einführung von Camos CPQ ist bei RSP in eine umfassendere Digitalstrategie ein-

gebettet. Über Schnittstellen zu ERP- und PLM-Systemen werden Konfigurationsdaten automatisiert weitergegeben, wodurch ein durchgängiger Informationsfluss vom Kundenwunsch bis zur Fertigung entsteht. Für die Zukunft plant RSP den digitalen Vertrieb weiter auszubauen: Interessenten sollen ihre Fahrzeuge direkt über die Website konfigurieren können – mit Guided-Selling-Funktionen und einem 24/7-Angebotszugang.

„Ein Kunde soll sich abends informieren, sein Fahrzeug zusammenstellen und am nächsten Tag mit unserem Vertrieb sprechen können“, beschreibt Robert Hohl die Perspektive. Damit führt RSP den eingeschlagenen Weg fort: ein durchgängiger, digital gesteuerter Angebotsprozess – vom ersten Klick bis zum fertigen Fahrzeug.

« KF

Daniel Kaiser ist Teamcoach Marketing bei Camos.

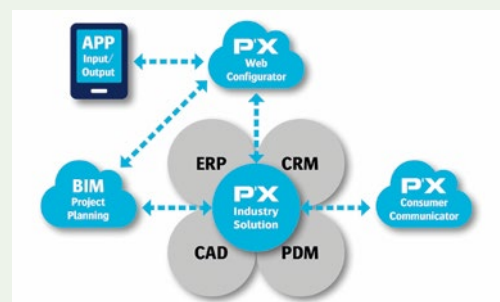
ANZEIGE

# VERTRIEBSPROZESSE DIGITALISIEREN UND MEHR UMSATZ GENERIEREN

Mit einer nahtlosen Digitalisierung der Vertriebsprozesse erfüllen Hersteller individuelle Kundenbedürfnisse genauer, schneller und effizienter. Dies gelingt mit der P'X Industry Solution von Perspectix. Die 3D-Konfiguration, Projektierung und Kalkulation variantenreicher Produkte integriert sich nahtlos in vorhandene Systeme. Mit dem Webkonfigurator erschließen Unternehmen neue Käuferschichten im Internet.

**DIE DIGITALISIERUNG** sollte dort beginnen, wo Umsatz generiert wird. Die P'X Industry Solution optimiert Vertriebsprozesse und

sorgt für wichtige Vorteile im Wettbewerb. Die CPQ-Lösung von Perspectix dient als wichtige Schnittstelle zwischen technischem Vertrieb und potenziellen Interessenten. Hersteller modularer Produktsysteme in der Industrie erfüllen damit die Anforderungen ihrer Kunden fehlerlos und effizient. Vertriebsmitarbeiter konfigurieren schnell und sicher Produkte und komplexe Anlagen. Aussagekräftige Angebote mit Aufstellungsskizzen überzeugen die Kunden ebenso wie animierte, dreidimensionale Konfigurationen im Einbauräum. Ein Webportal ermöglicht einen projektbezogenen Dialog mit allen Projektpartnern.



Die CPQ-Lösung P'X Industry Solution digitalisiert Vertriebsprozesse und ebnet den Weg zur Online-Konfiguration.

Bild: Perspectix

**P'X**  
PERSPECTIX

Anbieter: **Perspectix AG**  
Anschrift: Hardturmstraße 253  
8005 Zürich, Schweiz  
Telefon: +41 44 445 95 95  
E-Mail: Info@perspectix.com  
Internet: www.perspectix.com

### Schnell zum Online-Angebot auf gleicher Datenbasis

Der Webkonfigurator generiert neue Aufträge im Internet: Kunden konfigurieren ihre Lösung selbst in ansprechenden 3D-Ansichten und leiten die Anfrage an die Vertriebsorganisation – ideal für vorkonfigurierte Produktvarianten oder das Ersatzteilgeschäft.

**Digitize It: P'X Industry Solution von Perspectix**

# 3D-VISUALISIERUNG IST MEHR ALS EIN GRAFISCHES FRONTEND

Digitale Produkt-Konfiguratoren gehören heute zu den wichtigen digitalen Vertriebswerkzeugen im Nutzfahrzeug- und Sonderfahrzeugbau. Anders als im PKW-Massenmarkt geht es dabei nicht um die Auswahl einiger Ausstattungsoptionen, sondern um die Konfiguration hochkomplexer Produkte mit tausenden Komponenten und Millionen möglicher Varianten.

» VON GEMAR NIKOL

**D**ie Zahl möglicher Konfigurationen wächst kontinuierlich. Unterschiedliche Antriebe, Assistenzsysteme oder kundenspezifische Anpassungen führen zu Millionen potenzieller Varianten.

Während frühere Konfiguratoren häufig mit vereinfachten oder vorgerenderten Komplett-Modellen arbeiteten, reichen solche Ansätze heute oft nicht mehr aus. Wie sich eine enorme Vielzahl möglicher Produktvarianten performant visualisieren lässt und warum 3D-CAD-Viewer dabei eine zentrale Integrationsrolle übernehmen, zeigen aktuelle Entwicklungen im B2B-Umfeld von Fahrzeug-Konfiguratoren.

Besonders im Nutzfahrzeugbereich entstehen durch modulare Plattformen und Sonderaufbauten hochkomplexe Konfigurationen. Die zunehmende Variantenvielfalt ist eine der größten Herausforderungen bei der Visualisierung in Produkt-Konfiguratoren. Visualisierungslösungen müssen die Darstellung großer Baugruppen mit hundert-

tausenden Einzelteilen innerhalb weniger Sekunden ermöglichen. Voraussetzung dafür sind leistungsfähige Rendering-Technologien sowie flexible Schnittstellen zu PLM-, ERP- und Konfigurator-Systemen.

## Performante Konfiguration mit 100-Prozent-Modellen

Ein zentraler Trend im Engineering ist die Nutzung vollständiger 100-Prozent-Modelle anstelle reduzierter Visualisierungsdaten. Dadurch arbeiten Konstruktion, Vertrieb und Fertigung mit derselben Datenbasis. Inkonsistenzen zwischen verschiedenen Datenständen lassen sich reduzieren, Änderungen schneller bereitstellen. Wie relevant dieser Ansatz ist, zeigt das konkrete Beispiel eines Herstellers von LKW-Motoren. Dort entstehen aus mehr als 15.000 Einzelkomponenten Millionen möglicher Varianten. Die vollständige Vorabdefinition sämtlicher Konfigurationen wäre technisch kaum realisierbar, und herkömmliche CAD-Systeme stoßen an ihre Grenzen, wenn es darum geht, derart kom-

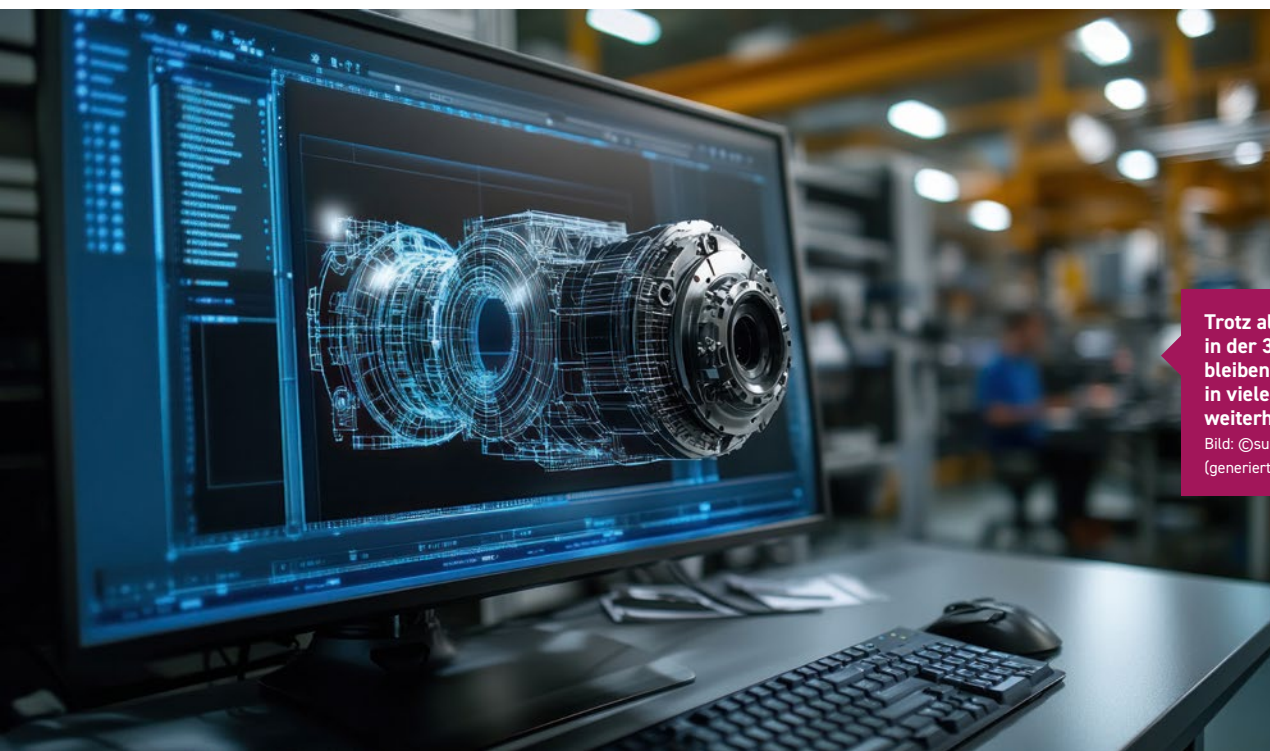
plexe und individuell konfigurierte Motoren performant in 3D zu laden. Werden Modelle erst nach längeren Ladezeiten angezeigt oder reagieren Konfiguratoren verzögert auf Änderungen, leidet nicht nur die Benutzerakzeptanz, sondern auch die Effizienz der zugrundeliegenden Prozesse. Die Viewer-Technologien in der Kisters 3DViewStation lösen dieses Problem, indem einmalig vorbereitete Einzelkomponenten dynamisch geladen und während des Konfigurationsprozesses automatisch korrekt positioniert werden. Die finale Konfiguration muss zuvor nie vollständig als CAD-Modell existiert haben. Stattdessen entsteht sie virtuell zur Laufzeit. Konfigurationsänderungen werden ebenfalls nahezu in Echtzeit dargestellt.

**EIN ZENTRALER TREND IM ENGINEERING IST DIE NUTZUNG VOLLSTÄNDIGER 100-PROZENT-MODELLE.**

Ein LKW-Motoren-Hersteller integriert die 3DViewStation für die Produkt-Konfiguration, für die technische Dokumentation und im Ersatzteilwesen.

Bild: Kisters





**Trotz aller Fortschritte in der 3D-Visualisierung bleiben 2D-Zeichnungen in vielen Bereichen weiterhin relevant.**

Bild: ©suriya/stock.adobe.com  
(generiert mit KI)

Das Ergebnis dient nicht nur der Visualisierung im Vertrieb, sondern gleichzeitig als Grundlage für Stücklisten, Fertigungsplanung und Serviceprozesse. Visualisierung in Produkt-Konfiguratoren ist hier somit längst nicht mehr nur Vertriebswerkzeug, sondern integraler Katalysator für zentrale Datendrehscheiben im Digital Thread.

### 3D und 2D gemeinsam nutzen

Trotz aller Fortschritte in der 3D-Visualisierung bleiben 2D-Zeichnungen in vielen Bereichen weiterhin relevant. Gerade Spezialisten in der Einzel- und Kleinserienfertigung wie Hersteller von Aufbauten konstruieren sehr häufig noch in 2D. Moderne Visualisierungslösungen verbinden deshalb beide Welten. Wie dies effizient mit der 3DViewStation gelingt, zeigt das Beispiel eines preisgekrönten Truck-Konfigurators. Dort wurden bisherige generische 2D-Darstellungen durch interaktive 3D-Modelle des tatsächlich konfigurierten Fahrzeugs ersetzt. Anwender sehen damit in Echtzeit das vollständige 100-Prozent-Modell ihres individuell zusammengestellten Trucks in 3D. Gleichzeitig werden aus dem 3D-Modell automatisch präzise 2D-Ableitungen erzeugt – inklusive Legende, Zusatztexten, Schnittdarstellungen, Blöcken und Layern. Das ermöglicht es Aufbauherstellern, ihre etablierten Prozesse beizubehalten und dennoch von aktuellen Konfigurationsdaten zu profitieren.

### Raytracing in Echtzeit

Neben der reinen Performance gewinnt auch die Qualität der Darstellung zunehmend an Bedeutung. Anwender erwarten heute nicht nur eine schnelle Visualisierung, sondern

### BEIM RENDERING IM BROWSER WERDEN KEINE 3D-GEOMETRIEN VOM SERVER AN DEN CLIENT ÜBER- TRAGEN.

eine möglichst realitätsnahe Darstellung ihrer Konfiguration. Die Herausforderung besteht darin, diese Bildqualität in Echtzeit mit den Anforderungen großer CAD-Modelle zu verbinden. Raytracing-Technologien ermöglichen die physikalisch korrekte Berechnung von Licht, Schatten, Reflexionen, Transparenzen und Materialien. Mit der Rendering Engine der 3DViewStation entstehen fotorealistische Renderings mit Hintergrundbildern und Skyboxen. Anwender können die CAD-Modelle in Echtzeit ansehen, drehen, zoomen und manipulieren und erhalten bereits während der Konfiguration ein fotorealistisches Bild des Produkts, ohne auf zeitaufwendige Offline-Renderings warten zu müssen.

### Sicherheit und Know-how-Schutz

Bei digitalen Produkt-Konfiguratoren stellt sich die Frage, wie sich detaillierte 3D-Modelle bereitstellen lassen, ohne wertvolles Konstruktions-Know-how preiszugeben. Der 3DViewStation WebViewer adressiert diese Anforderung mit mehreren Schutzmechanismen. So können nicht sichtbare Bauteile automatisch entfernt sowie kritische Geometrien gezielt vereinfacht oder verfremdet werden, falls die Daten zum Beispiel an Kunden weitergegeben werden müssen. Darüber hinaus werden beim Rendering im Browser keine 3D-Geometrien vom Server

an den Client übertragen. Aufbauhersteller und Kunden erhalten dadurch alle für ihre Arbeit erforderlichen Informationen, ohne Zugriff auf sensible Konstruktionsdetails zu erhalten. Wie dadurch Synergieeffekte erzeugt werden können, zeigen die Erfolge des Truck-Herstellers: Dieser konnte einen deutlichen Rückgang an Plagiaten sowie einen höheren Absatz von Original-Ersatzteilen verzeichnen.

### Visualisierung als Beschleuniger digitaler Wertschöpfung

Die Entwicklung moderner Fahrzeug-Konfiguratoren zeigt, dass Visualisierung heute weit mehr ist als ein grafisches Frontend. Leistungsfähige 3D-CAD-Viewer entwickeln sich zunehmend zu strategischen Komponenten innerhalb digitaler Engineering-Prozesse. Sie verhelfen CAD, PLM, ERP, Vertrieb und Fertigung zu einer durchgängigen Datennutzung und schaffen damit die Grundlage für konsistente Digital-Twin-Strategien. Besonders in Branchen mit hoher Variantenvielfalt kann das ein entscheidender Wettbewerbsfaktor sein. Die Zukunft digitaler Produkt-Konfiguratoren hängt daher maßgeblich von der Leistungsfähigkeit der zugrunde liegenden Visualisierungstechnologien ab. Mit Lösungen, die große Datenmengen performant verarbeiten und unterschiedliche Systeme integrieren, werden Produkt-Konfiguratoren zunehmend zu virtuellen Showrooms, die Performance, fotorealistische Darstellung und Datensicherheit miteinander verbinden.

« KIS

**Germar Nikol** ist Director Visualization Technologies bei Kisters.

# KOMPLEXE ANTRIEBSTECHNIK BEHERRSCHEN

Individuelle Antriebslösungen führen oft zu komplexen Angebotsprozessen, hohem Engineering-Aufwand und aufwändigen Abstimmungen zwischen Vertrieb und Konstruktion. Zollern hat darauf mit der Einführung einer CPQ-Software reagiert und seine Produktlogik in einen strukturierten Baukasten überführt. Achim Hecht, Projektleiter CPQ, und Dr. Steffen Schaefer, Leiter Entwicklung Antriebstechnik bei Zollern, teilen ihre Erkenntnisse aus der Praxis. » **VON THORSTEN KREBS**

**B**ei Zollern galt lange die Annahme, dass jedes einzelne Angebot individuell ausgearbeitet werden muss – mit entsprechend hohem Engineering-Aufwand,“ weiß Achim Hecht, Projektleiter für CPQ bei Zollern. „Es war schwierig, sich von diesem Mindset zu lösen. Unsere größte Herausforderung ist gleichzeitig auch eine klassische Maschinenbaukrankheit: Wir taten Dinge auf eine bestimmte Weise, weil wir das schon immer so gemacht haben.“ Dr. Steffen Schaefer, Leiter Entwicklung Antriebstechnik, ergänzt: „Ein wesentlicher Erfolgsfaktor war die Überführung unserer etablierten Produktlogik in eine beherrschbare und zukunftsfähige Baukastenstruktur.“

Zollern gehört zu den ältesten Familienunternehmen Deutschlands. Gegründet im Jahr 1708 als „Fürstlich Hohenzollernsches Hüttenwerk“ entwickelt und vertreibt Zollern heute weltweit Metallprodukte für

anspruchsvolle Branchen. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Antriebstechnik, vor allem auf kundenspezifischen Lösungen wie Planeten- und Einschubgetrieben. Die hohe Individualisierung ist dabei zentraler Bestandteil des Geschäftsmodells. Gleichzeitig macht sie die Angebotserstellung bei Zollern besonders komplex.

## Komplexität gezielt reduzieren

Mit einer CPQ-Lösung (Configure-Price-Quote-Lösung) lässt sich diese Komplexität gezielt reduzieren: Produkte werden hier in digitale Baukastenstrukturen überführt und regelbasiert konfiguriert. Als Fullservice-Anbieter für CPQ und Variantenmanagement unterstützte Encoway Zollern dabei, wiederkehrende Produktkomponenten zu identifizieren und digital abzubilden. Innerhalb von vier Monaten wurde ein CPQ-System von Encoway produktiv gesetzt. Für den Einstieg fokussierte sich das Projekt auf die

Konfiguration von Einschubgetrieben. Heute kann das Vertriebsteam von Zollern diese strukturiert zusammenstellen und technisch validieren. Langfristiges Ziel ist es, Schritt für Schritt einen durchgängig digitalen Angebotsprozess – von der Produktkonfiguration über die technische Auslegung bis in die Konstruktion und Fertigung – zu schaffen.

In der Projektumsetzung zeigte sich schnell, dass dabei nicht nur technische, sondern auch organisatorische und kulturelle Herausforderungen zu bewältigen sind. Aus den Erfahrungen des Projektteams um Achim Hecht und Dr. Steffen Schaefer wurden fünf zentrale Erkenntnisse für erfolgreiche CPQ-Projekte abgeleitet.

**1. Klein anfangen, schnell Ergebnisse erzielen:** Statt das gesamte Produktportfolio auf einmal digital abzubilden, konzentrierte sich das CPQ-Einführungsprojekt mit Encoway zunächst nur auf die Konfiguration von Einschubgetrieben. Ein früherer Projektversuch mit einem anderen CPQ-Anbieter scheiterte unter anderem daran, dass zu viel gleichzeitig umgesetzt werden sollte. Der Fokus auf einen Teilbereich ermöglichte einen schnelleren Go-Live und erste Erfahrungen im produktiven Einsatz. Nach vier Monaten konnten CPQ-Nutzer bei Zollern bereits Einschubgetriebe mit über 80.000 Produktvarianten konfigurieren und prüfen. Über eine integrierte Auslegung werden Konfigurationen direkt technisch validiert, sodass nur baubare und verkaufbare Lösungen entstehen.

**2. Mit Baukastenlogik Komplexität reduzieren:** Im ersten CPQ-Projekt wurden Produkte bis auf Einzelteilebene abgebildet. Das führte schnell zu einer unüberschaubaren Komplexität. „Im ersten Versuch konnten wir bis auf die kleinste Schraube und Unterlegscheibe alles konfigurieren“,



Zwei Mitarbeiter bei der Endmontage einer Seilwinde.

Bilder: Zollern



**Seilwindeneinschubgetriebe:**  
In die Seiltrommel integrierte Planetengetriebe auf Basis eines modularen Baukastensystems.

beschreibt Achim Hecht. Dr. Steffen Schaefer ergänzt: „Die entscheidende Erkenntnis bestand darin, die Produktstruktur auf funktionale Baugruppen und nicht auf Einzelteile auszurichten. Dadurch konnten wir Komplexität deutlich reduzieren, ohne die erforderliche Flexibilität für kundenindividuelle Lösungen einzuschränken.“ In einem gemeinsamen Prozess wurden funktionale Baugruppen definiert und in einer Baukastenlogik digital abgebildet.

**Ergebnisdiskussion zur Abnahmeprüfung von Anschlaggetrieben.**



**3. Team einbinden und Akzeptanz schaffen:** Die Einführung einer CPQ-Software ist kein rein technisches Projekt: Entscheidend ist nicht nur das Tool selbst, sondern vor allem, dass die Mitarbeitenden das System verstehen und im Alltag nutzen – sonst bleibt der erhoffte Mehrwert aus. „Uns war es wichtig, das Team früh einzubinden und die Vorteile des Configurators klar zu vermitteln“, berichtet Achim Hecht. „Denn unsere Vertriebler sollen durch das Tool nicht bevormundet werden, sondern zum Beispiel mehr Zeit für die eigentliche Kundenberatung gewinnen.“ Feedback aus Vertrieb und Konstruktion wurde von Beginn an regelmäßig aufgenommen und in die Weiterentwicklung integriert. So entstand ein iterativer Prozess, in dem das System nicht nur technisch verbessert, sondern auch im Unternehmen verankert wurde.

**4. Von Vertrieb bis Konstruktion ganzheitlich digitalisieren:** Mit der Einführung eines CPQ-Systems hat Zollern den ersten Meilenstein erreicht: Varianten von Einschubgetrieben lassen sich strukturiert konfigurieren und technisch validieren. Gleichzeitig war von Beginn an klar, dass dies nur der erste Schritt auf dem Weg zu einem durchgängig digitalen Angebotsprozess sein kann.

Künftig sollen Konfigurationsdaten durchgängig in Folgeprozessen weiterverwendet werden – beispielsweise für die automatische Erstellung von Einbauzeichnungen oder 3D-Modellen. „Unser Ziel ist es, dass aus einem Angebot heraus direkt ein nutzbares CAD-Modell für die Konstruktion entsteht“, beschreibt Achim Hecht. Dr. Steffen Schaefer ergänzt: „Die durchgängige Nutzung konsistenter Produktdaten entlang der gesamten Prozesskette von Vertrieb, Engineering und Konstruktion ist ein wesentlicher Bestandteil unserer Digitalisierungsstrategie.“ Vertriebsmitarbeiter sollen in die Lage versetzt werden, schnell valide und technisch geprüfte Lösungen anzubieten. Gleichzeitig soll die Konstruktion direkt konsistente und belastbare Daten erhalten und so manuelle Nacharbeit einsparen. Um dieses Ziel zu erreichen, sind weitere Maßnahmen notwendig: Die Integration von Kalkulation und 3D-Visualisierung sowie eine lückenlose Anbindung an die bestehende IT-Landschaft sind bereits geplant. In den kommenden Jahren will Zollern so ein durchgängiges CPQ-Ökosystem schaffen.

**5. Skalierbar und zukunftsfähig planen:** Das CPQ-Projekt von Zollern ist als nachhaltige Entwicklung angelegt. „Wir denken die Lösung von Anfang an so, dass sie in fünf oder zehn Jahren immer noch Bestand hat“, so Hecht. Dr. Schaefer ergänzt:

**LANGFRISTIGES ZIEL IST ES, SCHRITT FÜR SCHRITT EINEN DURCHGÄNGIG DIGITALEN ANGEBOTSPROZESS ZU SCHAFFEN.**

„Dabei legen wir besonderen Wert auf eine langfristig tragfähige Systemarchitektur, die zukünftige Produkte, Auslegungsmethoden und Automatisierungsbausteine integrieren kann.“ Darüber hinaus sorgt Zollern dafür, dass das CPQ-System operativ flexibel bleibt: Produktvarianten lassen sich intern pflegen und erweitern, sodass die Lösung im Tagesgeschäft ohne externe Abhängigkeiten anpassbar bleibt.

#### **Deutlich schneller auf Kundenanforderungen reagieren**

„Die CPQ-Einführung mit Encoway ist für uns sehr erfolgreich verlaufen“, resümieren Achim Hecht und Dr. Steffen Schaefer. „Mit den geschaffenen Grundlagen werden wir die Digitalisierung unserer Angebots-, Auslegungs- und Engineering-Prozesse in den kommenden Jahren konsequent weiterentwickeln.“ Damit schafft das Unternehmen die Voraussetzungen, um künftig deutlich schneller auf Kundenanforderungen zu reagieren und seine Variantenvielfalt gezielt zu steuern.

« KF

**Thorsten Krebs** ist Leiter Beratung bei Encoway.

# MEHR KOMFORT BEI MAXIMALER SICHERHEIT

Künstliche Intelligenz (KI) ist in der Produktkonfiguration angekommen: Perspectix öffnet seine Configure-Price-Quote-Lösung (CPQ) P'X Industry Solution für KI-gestützte Eingaben. Die Anwender erhalten mehr Komfort bei der Eingabe ihrer Anforderungen und maximale Sicherheit bei der regelbasierten Konfiguration und Auslegung. » VON ANDRÉ KÄLIN

**D**er Maschinen- und Anlagenbau steht vor einem bedeutenden technologischen Umbruch. Laut einer VDMA-Studie hat der Einsatz von künstlicher Intelligenz den Status eines Experimentierfeldes längst verlassen: Bereits 43 Prozent der Unternehmen nutzen aktiv KI, 21 Prozent befinden sich in der Umsetzungsphase und 27 Prozent planen den Einstieg bis 2028. In absehbarer Zeit werden also 90 Prozent der Maschinen- und Anlagenbauer KI-Technologien in ihrem Betrieb implementiert haben.

Wie bei jedem Einsatz einer neuen Technologie müssen produzierende Unternehmen Vorteile und Risiken abwägen und unterschiedlichen Wege prüfen, die zum gleichen Ziel führen. Dabei bieten sich drei Optionen an, die sich einzeln oder in Kombination wählen lassen:

→ Die führenden Anbieter von ERP-, CAD- und PDM-Software erweitern ihre Systeme um KI-Assistenten, die auf ihrer Datenbasis eingesetzt werden können.

→ KI-Agenten lösen im Rahmen einer definierten Datenbasis – einzeln oder in Ketten – spezifische Aufgaben, für die sie trainiert werden.

→ Unternehmensweite KI-Plattformen bieten eine gesicherte und optimierte Datenbasis für das gesamte KI-Geschehen im Unternehmen.

## Künstliche Intelligenz in der Produktkonfiguration

Auch im Vertrieb von kundenindividuellen Maschinen und Anlagen ist der Einsatz von KI in CPQ-Systemen der „nächste große Schritt“, an dem die Branche arbeitet. Intelligente Empfehlungssysteme sollen ähnlich wie die großen E-Commerce-Plattformen erfolgreiche Konfigurationen hervorheben und einzelne Module vorschlagen.

Die komplexe Preisgestaltung im Maschinenbau, oft ein Mix aus Listenpreisen, Rabattstufen und kundenspezifischen Verträgen, soll durch dynamische Preisoptimierung nach „Wahrscheinlichkeit des Abschlusses“

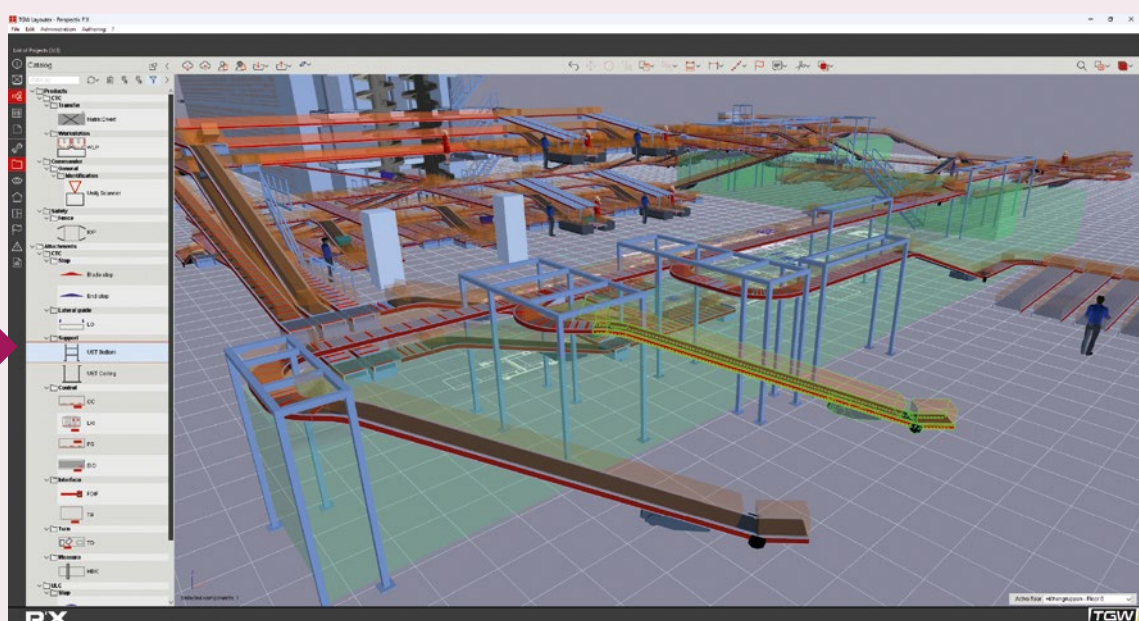
**DIE GRÖSSTE HÜRDE BEI DER KONFIGURATION KOMPLEXER ANLAGEN IST OFT DIE ERFORDERLICHE EXPERTENKENNTNIS, UM DAS SYSTEM KORREKT ZU BEDIENEN. HIER FUNGIERT KI ALS INTUITIVER TÜRÖFFNER.**

optimiert werden – wobei zugleich die Marge gesichert wird.

## Einfachheit durch „Natural Language Processing“ (NLP)

Die größte Hürde bei der Konfiguration komplexer Anlagen ist oft die erforderliche Expertenkenntnis, um das System korrekt zu bedienen. Hier fungiert KI als intuitiver Türöffner. Dank NLP können Anwender ihre Anforderungen in natürlicher Sprache beschreiben – etwa: „Ich brauche eine Anlage für 500 Einheiten pro Stunde bei 40 Grad Raumtemperatur.“ Dabei geht es um Sprach-

GW Logistics konfiguriert seine hochautomatisierten Intralogistik-Systeme mit P'X Industry Solution von Perspectix.





P'X Industry Solution integriert Eingabedialoge in Natural Language Processing (NLP).

eingeben ebenso wie um Textverarbeitung. Die KI übersetzt diese Anforderungen in die technischen Parameter. Dies reduziert Einarbeitungszeiten, entlastet die Konstruktionsabteilungen von repetitiven Anfragen und erhöht die Trefferquote bei Angeboten.

Das Beste aus zwei Welten: Perspectix verbindet KI-basierte Eingabe und regelbasierte Konfiguration.

Bilder: Perspectix AG

## Technologieoffener Ansatz für Eingabedialoge

Da Unternehmen verschiedene KI-Strategien verfolgen, setzt Perspectix auf Technologieoffenheit. Hersteller wählen ihre bevorzugte KI-Lösung nach den gewünschten Anforderungen an Schnittstellen, Sicherheit, Datenzugriff und Compliance aus. Perspectix unterstützt bei der Implementierung geeigneter Integrationszenarien. Die KI liefert dann als Frontend einfache Eingabedialoge für P'X Industry Solution und übergibt die Anforderungen strukturiert an die CPQ-Lösung.

## Sicherheit und Konsistenz durch bewährte Regellogik

Trotz der neuen KI-Freiheit bleibt das Herzstück der Konfiguration die bewährte, regelbasierte Logik von P'X Industry Solution. Sie wird von namhaften Herstellern in zahlreichen Branchen an über 15.000 Arbeitsplätzen eingesetzt, um modulare Produktsysteme in individuellen Ausprägungen zu verkaufen. Während der Konfiguration nach den Anforderungen der Kunden lassen sich die Komponenten aus 3D-Katalogen nach den Regeln der Produktlogik zu technisch und wirtschaftlich sinnvollen Lösungen zusammenführen. Dabei werden technische Berechnungen der verschiedensten Art integriert – vom Spannungsabfall nach Leitungslänge und -querschnitt bei Elektrosystemen bis zum notwendigen Kühlmitteldurchsatz bei Kältesystemen. Die regelbasierte Produktkonfiguration bietet Flexibilität für Kundenwünsche

und Kostensicherheit dank mitlaufender Kalkulation.

## Validierung und Fehlerprävention.

Zugleich schließt die regelbasierte Produktkonfiguration Fehleingaben und Konfigurationsfehler nahezu vollständig aus. „Unmöglich herstellbare Konfigurationen“ können auch nicht erstellt werden. Die Verantwortung für

**TROTZ DER NEUEN KI-FREIHEIT BLEIBT DAS HERZSTÜCK DER KONFIGURATION DIE BEWÄHRTE, REGELBASIERTE LOGIK VON P'X INDUSTRY SOLUTION.**

die Anwendung der herstellereigenen Produktlogik, technische Berechnungen, Regelprüfungen, die Verwendung von Geometrien und sämtliche ausgegebenen Ergebnisse verbleibt wie bisher bei P'X Industry Solution. Da die KI lediglich als vorgeschalteter „Übersetzer“ dient, bleibt das Endergebnis der regelbasierten Produktkonfiguration nachvollziehbar, prüfbar und konsistent.

## Automatische Dokumentation

Auch die automatisierte Erstellung der Angebotsdokumentation erfolgt weiterhin auf der



Basis der geprüften Logik. P'X Industry Solution erstellt sämtliche vom Kunden definierten Angebotsbeschreibungen, Dokumentationen mit 3D-Abbildungen, Aufstellpläne und Montageanleitungen im definierten Format, mit allen vorgegebenen Informationen. Dies verbindet höchste Geschwindigkeit und Effizienz mit höchster Sicherheit im Angebotsprozess.

## Einfach und sichere Anwendung

Der Ansatz von Perspectix verbindet das Beste aus zwei Welten: Die KI sorgt für einen leichten, intuitiven Zugang zur regelbasierten Produktkonfiguration. Anwender können Anforderungen in natürlicher Sprache formulieren, Rückfragen im Dialog klären und schneller zu einer strukturierten Konfiguration gelangen. So lässt sich der Schulungsaufwand reduzieren und die Angebotserstellung beschleunigen.

Der Hersteller bleibt Herr über die geprüfte Produktlogik, die gemeinsam mit Perspectix implementiert wurde. Er behält die Verantwortung für sämtliche Produktdaten und Konfigurationsregeln.

Die CPQ-Lösung sorgt als verlässliches Fundament dafür, dass am Ende nur technisch einwandfreie und wirtschaftlich erfolgreiche Lösungen das Werk verlassen. **« RT**

André Kälin ist CEO der Perspectix AG in Zürich.

# WARUM ENGINEERING HEUTE IM ANGEBOTSPROZESS BEGINNT

Was nützt das beste Angebot, wenn es sich später nicht wirtschaftlich oder technisch umsetzen lässt? Moderne CPQ-Systeme schließen die Lücke zwischen Vertrieb, Engineering und Produktion, indem sie Konfigurationen bereits im Angebotsprozess validieren. So entstehen realisierbare Angebote, weniger Abstimmungsschleifen und effizientere Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette. » VON KIANA MOSTAJABIAN



Bild: © Wladimir1804/stock.adobe.com

überprüft, ob die Konfiguration tatsächlich hergestellt, kalkuliert und ausgeliefert werden kann, ohne nachgelagerte Abläufe zu beeinträchtigen. Das verhindert, dass der Vertrieb etwas verspricht, was die Fertigung nicht liefern kann. Gleichzeitig basieren Preise, statt auf Schätzungen aus vorherigen Quartalen, auf tatsächlichen Kosten und Margen.

Der entscheidende Unterschied liegt im Zeitpunkt der Validierung: Wenn Entscheidungen bereits im Vertriebsprozess abgesichert werden, werden Fehler, Korrekturschleifen und Rückfragen von Anfang an reduziert und das Engineering entlastet.

## Wo Unternehmen heute in CPQ investieren

Diese Entwicklung zeigt sich auch in den aktuellen Investitionsschwerpunkten. Die im Smart Manufacturing Report 2026 von Revalize erhobenen Daten zeigen, dass Unternehmen CPQ gezielt erweitern, um Angebotsprozesse enger mit technischen und wirtschaftlichen Anforderungen zu verknüpfen:

- 43 Prozent der befragten Unternehmen integrieren ihr CPQ-System mit dem CRM und schaffen eine direkte Verbindung zwischen Kundenanfrage und Angebotsprozess.
- 41 Prozent nutzen CPQ gezielt zur Produktkonfiguration, um fehlerhafte oder technisch nicht umsetzbare Kombinationen frühzeitig auszuschließen.
- Weitere 39 Prozent setzen CPQ für das Pricing-Management ein und ersetzen statische Preislisten durch dynamische Modelle, die Kosten- und Margenziele besser berücksichtigen.

Anhand dieser Ergebnisse lässt sich sagen, dass Unternehmen CPQ zunehmend als Teil ihrer digitalen Infrastruktur betrachten. Die Technologie verbindet Prozesse, die bislang häufig in separaten Systemen und Abteilungen abliefen.

In vielen Fertigungsunternehmen entstehen Verzögerungen und Zusatzaufwände, noch bevor die Daten in der Produktion landen. Vor allem dann, wenn Kundenanforderungen nicht dem entsprechen, was die Fertigung tatsächlich leisten kann. Denn im Vertrieb werden Konfigurationen häufig erstellt, ohne alle technischen Abhängigkeiten zu berücksichtigen, und das Engineering wird zu spät mit einbezogen. Die Konsequenzen zeigen sich erst, wenn das Projekt bereits fortgeschritten ist. Sie reichen von aufwendigen Abstimmungsschleifen über verlängerte Durchlaufzeiten bis hin zu verringerten Margen.

Aus diesem Grund erwarten Unternehmen heute deutlich mehr von Configure Price Quote (CPQ)-Systemen als die reine Unterstützung der Angebotserstellung. Sie fragen nach modernen Lösungen, die technische, wirtschaftliche und produktspezifische In-

formationen zusammenführen und bereits während des Angebotsprozesses prüfen.

## Produktkonfiguration als durchgängiger Bestandteil des Prozesses

Klassische CPQ-Systeme waren und sind in vielen Unternehmen vor allem Bestandteil der Vertriebsinfrastruktur. Sie helfen dabei, Produktvarianten zusammenzustellen, Preise zu kalkulieren und Angebote zu erstellen. Eine Anbindung an andere Unternehmensbereiche ist häufig nur begrenzt möglich. Moderne CPQ-Systeme bieten dafür erweiterte Funktionalitäten.

Mit modernen CPQ-Lösungen lässt sich die Produktkonfiguration als Bestandteil eines durchgängigen Prozesses betrachten, in dessen Zentrum die systematische Abbildung der Produktlogik steht. Sie greifen auf hinterlegte Konstruktionsregeln sowie auf Daten aus ERP-, CRM- oder CAD-Systemen zu. So wird direkt

## Zwischen Kundenanforderung und Umsetzbarkeit

Ein weiterer Grund für diese Entwicklung liegt darin, dass Vertrieb, Engineering und Produktion bisher häufig auf unterschiedlichen Informationsständen arbeiteten: Kundeninformationen liegen im CRM, Produktwissen im Engineering, Kosten- und Bestandsdaten im ERP.

In vielen Unternehmen sind diese Bereiche historisch getrennt gewachsen. Ohne eine verbindende Ebene werden Informationen nur punktuell zusammengeführt und Entscheidungen im Angebotsprozess basieren auf Annahmen, Erfahrungswerten oder manueller Abstimmung.

Bei richtiger Anwendung gleicht CPQ geschäftliche Absichten mit der betrieblichen Realität ab, bevor Verpflichtungen eingegangen werden. Kompromisse werden frühzeitig identifiziert und überzogene Versprechungen erschwert. Vertrieb, Technik und Betrieb arbeiten auf der Grundlage gemeinsamer Informationen statt konkurrierender Annahmen.

### Die Bedeutung in der Praxis

Die unmittelbaren Vorteile liegen auf der Hand: reduzierte Fehlerquoten, kürzere Angebotszyklen und ein geringerer Bedarf an internen Abstimmungen. Wenn Konfigurationen frühzeitig gegen technische Regeln geprüft werden, sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass Engineering oder Produktion später korrigierend eingreifen müssen.

Hinzu kommen wirtschaftliche Aspekte, denn Preise können stärker auf aktuellen Kosten, Margenzielen und realen Abhängigkeiten basieren und Forecasts werden belastbarer, weil sie tatsächlich realisierbare Projekte betreffen.



In einem integrierten CPQ-Prozess werden Konfiguration, Preisberechnung und technische Prüfung in einem Schritt durchgeführt. Ergebnisse lassen sich ohne Medienbrüche in Vertrieb, Engineering und Produktion weiterverarbeiten.

Bilder: Revalize, Inc. and/or its affiliates

## WERDEN ENTSCHEIDUNGEN BEREITS IM VERTRIEBSPROZESS ABGESICHERT, WERDEN FEHLER, KORREKTURSCHLEIFEN UND RÜCKFRAGEN VON ANFANG AN REDUZIERT UND DAS ENGINEERING ENTLASTET.

Auch strategisch gewinnt das Thema an Bedeutung. 77 Prozent der Befragten berichten von gestiegenen Softwarebudgets, von denen wiederum 41 Prozent auf Initiativen zur digitalen Transformation zurückzuführen sind. Dass investiert wird, ist offensichtlich. Bleibt die Frage, ob CPQ dabei als strategische Komponente angesehen wird oder als weiteres Einzelsystem in einer ohnehin fragmentierten Systemlandschaft.

### Transparenz als Entscheidungsgrundlage

Bei der Bewertung moderner CPQ-Systeme sollte geprüft werden, inwieweit die Lösung tatsächlich bessere Entscheidungen unterstützen kann oder ob sie lediglich bestehende Zielkonflikte aufzeigt. Viele Implementierungen bieten eine Mischung aus beidem. Sie automatisieren dort, wo Regeln eindeutig sind, und schaffen Transparenz, wo fachliche Abwägung erforderlich bleibt. Die Qualität der Ergebnisse hängt maßgeblich von den zugrunde liegenden Produktregeln, der Datenqualität und dem Integrationsgrad der eingesetzten Systeme ab. Auch der zunehmende Einsatz von KI wird daran wenig ändern, denn deren Qualität hängt direkt von der Datenqualität ab. Der eigentliche Wert von CPQ liegt darin, relevante Informationen frühzeitig bereitzustellen und Risiken aufzuzeigen, solange sie noch ohne Folgen gelöst werden können.

### Fazit: Mehr als ein Angebotswerkzeug

Die Richtung ist klar: Investitionen steigen, Integrationen werden wichtiger, und die Erwartungen an CPQ gehen weit über die ursprüngliche Rolle als Angebotswerkzeug hinaus.

Unternehmen, die CPQ weiterhin nur als Mittel zur Beschleunigung des Vertriebs sehen, nutzen nur einen Teil des Potenzials. Mit zunehmender Produktkomplexität reicht es nicht aus, technische Fragen erst in der Konstruktion zu klären. Es muss sichergestellt werden, dass bereits im Angebot realisierbare Lösungen entstehen.

« KF



**Typischer Angebotsprozess: Abstimmungsschleifen und wiederkehrende Korrekturen verzögern den Ablauf und erhöhen den Aufwand in Vertrieb, Engineering und Produktion.**

Kiana Mostajabian ist Senior Director für Product Management bei Revalize.

# VIRAS: AUTONOMER EINKAUFSWAGEN FÜR BLINDE MENSCHEN

VIRAS, ein autonomer Einkaufswagen der Fachhochschule OST, ermöglicht blinden und sehbehinderten Menschen selbstbestimmtes Einkaufen: Einkaufsliste per App/NFC, präzise Lokalisierung via Stereo-Tiefenwahrnehmung, KI-gestützte Produkterkennung und Handtracking führen zur Ware. Motorisierte, geräuscharme Antriebe von Faulhaber sorgen für sichere Navigation. Pilotversuch in einer Migros-Filiale prüft Akzeptanz und Praxistauglichkeit. Nutzerakzeptanz: nahezu 90 Prozent. » VON DIPL.-ING. (FH) NORA CROCOLL UND DIPL.-WIRT. ING. ALEX HOMBURG

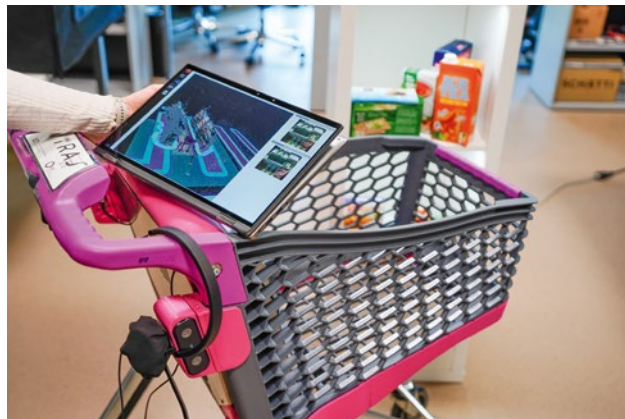
**A**ls blinder oder sehbehinderter Mensch im Supermarkt einzukaufen, ist alles andere als eine triviale Aufgabe: Zwischen den Regalen muss sicher navigiert, Produkte müssen aufgefunden, zuverlässig gegriffen und in den Wagen gelegt werden. Dabei gilt es, auch einen voll beladenen Einkaufswagen sicher an anderen Menschen vorbeizulenken, die sich ebenfalls bewegen, teilweise abrupt abbiegen oder anhalten.

## Unterstützung beim kompletten Einkaufsprozess

Das Team von Professor Dario Schaefroth am Institute for Lab Automation and Mechatronics, ILT, der Fachhochschule OST hat dafür unter der Projektleitung von Chantal Keller den autonomen Einkaufswagen VIRAS (Visually Impaired Robot-Assisted Shopping) entwickelt. Er soll Menschen mit Sehbehinderung beim Einkauf unterstützen. Dazu erfassen die Anwender im ersten Schritt ihre Einkaufsliste in einer App, die speziell für ihre Belange entwickelt wurde. Im Supermarkt kann diese Einkaufsliste dann per NFC an den Einkaufswagen übertragen werden. Mithilfe verschiedener Kameras und Sensoren lokalisiert sich der Wagen präzise innerhalb der Supermarktumgebung. Zudem weiß er, wo

» **DAS PROJEKT ERMÖGLICHT BLINDEN UND SEHBEHINDERTEN PERSONEN ERSTMALS EIN VOLLSTÄNDIG SELBSTBESTIMMTES EINKAUFSERLEBNIS UND SCHLIESST DAMIT EINE ZENTRALE LÜCKE IN DER BARRIEREFREIEN VERSORGUNG.** «

CHANTAL KELLER



Der autonome Einkaufswagen VIRAS unterstützt vor allem sehbehinderte Menschen beim Einkauf.

Bild: ILT



welche Produkte zu finden sind und plant die Einkaufsrouten. Die Pfadfindung erfolgt adaptiv und priorisiert effiziente, kollisionsfreie Routen zu den gewünschten Produkten. Mit der sehbehinderten Person kommuniziert der Wagen akustisch über einen Kopfhörer. Zu Beginn wird sie aufgefordert, den Start per Knopfdruck zu bestätigen. Sie hält sich wie gewohnt am motorisierten Einkaufswagen fest. Dieser führt sie dann zu den gewünschten Produkten. Unterwegs weicht der Wagen Hindernissen und anderen Kundinnen und Kunden zuverlässig aus. Über einen Gashebel am Griff des Einkaufswagens kann die sehbehinderte Person dessen Geschwindigkeit bestimmen.

Am richtigen Regal angekommen, stoppt der Einkaufswagen. Zwei seitlich montierte, schwenkbare Stereokameras erfassen das

Regalbild aus unterschiedlichen Perspektiven. Ein KI-Modul analysiert die Bilddaten und identifiziert das gesuchte Produkt anhand visueller Merkmale. Zusätzlich verfolgt ein Handtracking-Modul die Bewegungen der Hand der Nutzenden. Über akustisches Feedback, in welche Richtung sich die Hand bewegen muss, wird sie zum gewünschten Produkt gelenkt. Das Einlegen des Produkts in den Einkaufswagen wird durch ein akustisches Signal bestätigt und die Route zum nächsten Produkt bzw. zur Kasse wird fortgesetzt. Für unverpackte Ware wie Obst oder Gemüse soll der Einkaufswagen künftig mit einer integrierten Waage ausgestattet werden. Die Gewichtserfassung erfolgt dann automatisch und der Preis wird über die App mitgeteilt. Dass der Einkaufswagen alle eingelegten Produkte erfasst, lässt sich

dann auch für den Bezahlvorgang nutzen und damit den Check-out für Menschen mit Sehbehinderung deutlich erleichtern. Produkte müssen nicht zwangsläufig noch einmal aufs Kassenband gelegt werden.

### Kompakte Mechatronikplattform für den Supermarkt

Damit umfasst die Anwendung viele typische Anforderungen eines mechatronischen Systems, also das Zusammenspiel von Mechanik, Elektronik und Informationstechnik (im konkreten Fall Kameras, Antriebstechnik sowie Bildverarbeitungs- und Navigations-Software zur Steuerung). Hinzu kommt die Interaktion mit dem Menschen. All das

muss auf möglichst engem Raum realisiert werden. Der Einkaufswagen soll durch die zusätzliche Technik außerdem nicht deutlich schwerer werden. Gleichzeitig sollte der Energieverbrauch gering sein, da die Gesamtlösung akkubetrieben arbeitet. Die technische Grundlage von VIRAS bildet ein adaptiertes Einkaufswagen-System, das für den Einsatz autonomer Assistenzfunktionen optimiert wurde. Hierbei wurde eine modulare Plattform integriert, die Steuerungs-, Navigations- und Interaktionsfunktionen zentralisiert. Die Fortbewegung des Wagens erfolgt motorisiert, wobei die Steuerung nur bei aktivem Benutzereingriff reagiert. Dieses sicherheitsrelevante Prinzip gewährleistet, dass der Wagen ausschließlich dann in Bewegung ist, wenn Nutzer dies explizit wünschen. Gleichzeitig erhöht dies die Akzeptanz der Anwender.

Für die räumliche Orientierung nutzt VIRAS ein Lokalisierungs- und Kartierungsverfahren, das auf stereoskopischer Tiefenwahrnehmung basiert. Die Umgebung wird dabei kontinuierlich in Form von Punktwolken erfasst und in einer dynamischen 3D-Karte abgebildet. Diese Karte wird in Echtzeit aktualisiert und ermöglicht eine präzise Lokalisierung des Wagens ohne externe Infrastruktur innerhalb der Verkaufsfläche. Das System ist darauf ausgelegt, sich in hochdynamischen Umgebungen wie Supermärkten zuverlässig zu bewegen. Wechselnde Lichtverhältnisse, variable Kundenströme und temporäre Hindernisse werden dabei ebenfalls berücksichtigt.

### Robuste und leistungsfähige Antriebstechnik

Die Antriebslösung für den Einkaufswagen erforderte eine robuste und leistungsfähige Hardware. Wie bereits bei verschiedenen anderen Projekten der Fachhochschule OST fiel die Wahl auf Komponenten aus dem Hause Faulhaber. Genutzt werden zwei bürstenlose DC-Flachmotoren aus der BXT H Familie. Der Antrieb im robusten Edelstahlgehäuse überzeugt mit einem sehr hohen Drehmoment sowie einem besonders guten Verhältnis von Drehmoment zu Gewicht und Bauvolumen. Für den autonomen Einkaufswagen wurde der Antrieb kombiniert mit einem Getriebe sowie dem Motion Controller MC 5005. Er eignet sich unter anderem durch seine



Die Antriebslösung für den Einkaufswagen erforderte eine robuste und leistungsfähige Hardware.

Bild: ILT & Faulhaber

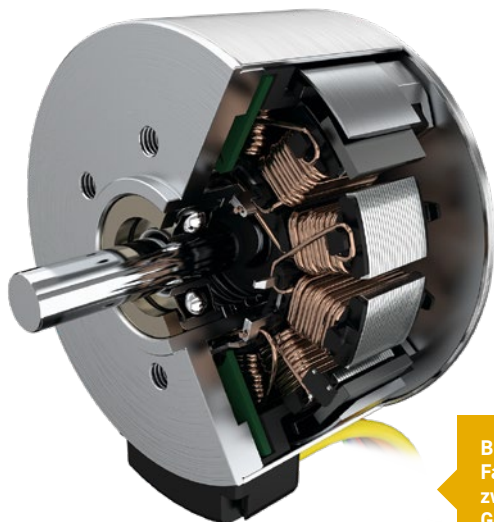
kompakte Bauform und die einfache Inbetriebnahme. Die Antriebslösung kann alle Betriebs- und Lastszenarien sowie die Anforderungen an Energieeffizienz und Geräuschemissionen optimal abdecken. Besonders wichtig war bei der Entwicklung Motoren zu finden, die bei niedrigen Drehzahlen ein hohes Anlauf- und Haltemoment erzeugen. Dadurch kann der Einkaufswagen auch im voll beladenen Zustand zuverlässig auf dem vorgegebenen Weg gehalten werden, während gleichzeitig sanfte Beschleunigungs- und Bremsvorgänge möglich sind. Damit Personen im Umfeld des Einkaufswagens nicht von Lärm belästigt werden, war auch die geräuscharme Ausführung der Antriebe wichtig. Zudem sollten die Geräusche des Antriebs die akustischen Ansagen des Einkaufswagens natürlich nicht stören.

### Zukunftsperspektiven: Mehr Einsatzbereiche

VIRAS wird derzeit in einer Migros-Filiale im schweizerischen Hinwil pilotiert. Ziel ist die praxisnahe Weiterentwicklung und Prüfung von Navigationsgenauigkeit, Produkterkennung, Latenz und Nutzerakzeptanz. Modulare Architektur erlaubt Skalierung auf weitere Filialen und Nutzergruppen. Künftig soll der Wagen nicht nur Sehbehinderten, sondern auch älteren sowie körperlich oder kognitiv eingeschränkten Personen beim schnellen Auffinden von Produkten helfen. Auch Werbeaktionen via App oder Bestandskontrolle sind denkbar.

« TB

Dipl.-Ing. (FH) Nora Crocoll und Dipl.-Wirt. Ing. Alex Homburg arbeiten im Redaktionsbüro Stutensee.



Bürstenloser DC-Flachmotor der BXT H Familie: Für die Antriebslösung werden zwei dieser Faulhaber-Motoren mit einem Getriebe sowie mit dem Motion Controller MC 5005 kombiniert. Bild: Faulhaber

# FÜNF DIMENSIONEN FÜR MAXIMALE LEISTUNG

Die Anforderungen an moderne Antriebssysteme steigen kontinuierlich. Anwendungen in der Robotik, Automatisierung, Medizintechnik sowie der Luft- und Raumfahrt verlangen höchste Präzision, maximale Dynamik und gleichzeitig eine kompakte Bauweise. Hinzu kommen steigende Anforderungen an Energieeffizienz, Geräuschentwicklung und Lebensdauer. Konstrukteure stehen daher vor der Herausforderung, immer mehr Leistung auf immer kleinerem Bauraum bereitzustellen.

» VON FLORIAN KOTZ

**G**etriebe werden dabei häufig noch als klassische Kraftübertragung betrachtet. Tatsächlich entsteht ihre Leistungsfähigkeit jedoch aus dem Zusammenspiel unterschiedlichster Disziplinen – von der Verzahnungsauslegung über Simulation und Werkstofftechnik bis hin zur Fertigungsqualität und zunehmend auch der Sensorik. Moderne Getriebe bestehen deshalb längst nicht mehr nur aus Zahnrädern.

## Vier Dimensionen bestimmen die Leistungsfähigkeit

- **Wirkungsgrad:** Bei der Entwicklung kundenspezifischer Getriebe betrachtet SPN vier klassische Optimierungsdimensionen, die sich gegenseitig beeinflussen. Ein hoher Wirkungsgrad reduziert Energieverluste, minimiert die Wärmeentwicklung und verbessert die Gesamteffizienz einer Maschine. Besonders Planetengetriebe bieten aufgrund ihrer Kinematik und der gleichmäßigen Lastverteilung Wirkungsgrade von deutlich über 90 Prozent. Durch optimierte Verzahnungen, angepasste Schmierung und eine gezielte Lagerauslegung lassen sich weitere Potenziale erschließen. Einen großen Vorteil bietet die gute Rückdrehbarkeit. Dadurch eignen sich diese Getriebe besonders für Anwendungen mit Kraftregelung oder in der Mensch-Roboter-Kollaboration.
- **Drehmomentdichte:** Durch drehmomentdichtere Antriebe werden Systeme zunehmend dynamischer. Dabei sind vor allem Bauraum und die Gesamtmasse der Getriebe im Fokus. Neben klassischen Planetengetrieben entwickelt SPN spezielle Umlaufgetriebe wie das Wolfromgetriebe sowie das

derzeit in Entwicklung befindliche SPN-Koppelgetriebe. Während das Wolfromprinzip maximale Drehmomente auf kleinstem Bauraum ermöglicht, kombiniert das Koppelgetriebe hohe Drehmomentdichte mit sehr guten Wirkungsgraden. Besonders interessant ist dabei seine Modularität: Durch den Austausch weniger Komponenten lassen sich unterschiedliche Übersetzungen wirtschaftlich realisieren, ohne das Grundkonzept verändern zu müssen.

- **Geräuschentwicklung:** Geräusche entstehen vor allem im Wälzeingriff der Verzahnungen. SPN beginnt deshalb die Optimierung lange vor der Fertigung. Mittels Berechnungs- und Simulationsverfahren werden Profil- und Sprung-



Planetengetriebe zeichnen sich durch ihre kompakte Bauweise, eine hohe Drehmomentdichte und einen exzellenten Wirkungsgrad aus.

**DIE ANFORDERUNGEN AN PRÄZISIONSGETRIEBE WERDEN AUCH KÜNFTIG WEITER STEIGEN. NEBEN WIRKUNGSGRAD, DREHMOMENTDICHTE, GERÄUSCHENTWICKLUNG UND LEBENSDAUER GEWINNT INSBESONDERE DIE SPIELFREIHEIT ALS FÜNFTE OPTIMIERUNGSDIMENSION AN BEDEUTUNG.**

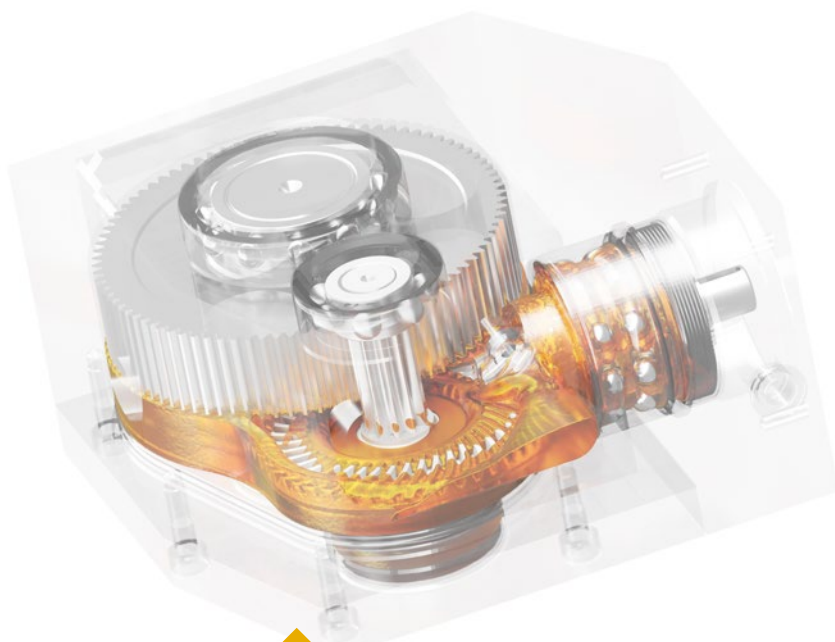
überdeckungen analysiert sowie Verzahnungssteifigkeiten und Gehäuseverformungen berücksichtigt. Ergänzend wird die Mikrogeometrie der Zahnflanken an die späteren Lastkollektive angepasst.

Das Ergebnis sind gleichmäßige Geräusch- anregungen, die vom Menschen deutlich angenehmer wahrgenommen werden als stark schwankende Geräuschpegel.

- **Lebensdauer:** Eine hohe Lebensdauer ist das Ergebnis vieler Einzelmaßnahmen. Neben einer optimalen Lastverteilung auf der Zahnflanke spielt die Schmierung eine entscheidende Rolle. Moderne Fluidsimulationen ermöglichen es heute, Öl- und Fettverteilungen bereits während der Entwicklung realitätsnah abzubilden. Dadurch lassen sich Schmierstoffversorgung, Temperaturverhalten und Verlustleistungen frühzeitig optimieren. Zusammen mit der gezielten Zahnflankenmodifikation entsteht ein deutlich höheres Lebensdauerpotenzial.

## Spielfreiheit: Die 5. Dimension im SPN-Optimierungs-Pentagon

Neben diesen vier etablierten Optimierungszielen rückt zunehmend ein weiterer Parameter in den Mittelpunkt: die Spielfreiheit. Dabei



Moderne Fluidsimulationen ermöglichen es, die Öl- und Fettverteilung bereits während der Entwicklung präzise abzubilden, um die Lebensdauer der Getriebe signifikant zu erhöhen.

Bilder: SPN Schwaben Präzision

## DAS PRINZIP DER BEVELOIDVERZÄHNUNG

Eine Beveloidverzahnung ist eine konische Stirnradverzahnung, bei der die Zahnbreite leicht kegelförmig ausgeführt ist. Im Gegensatz zu einer klassischen Stirnradverzahnung besitzen Rad und Ritzel entgegengesetzte Kegelwinkel. Dadurch lässt sich das Flankenspiel gezielt und präzise einstellen.

Das Ergebnis: eine hohe Torsionssteifigkeit und ein minimiertes Verdrehspiel.

Beveloidverzahnungen eignen sich daher besonders für Anwendungen mit hohen Anforderungen an Positioniergenauigkeit, Dynamik und Präzision – beispielsweise in der Robotik, Automatisierung oder Medizintechnik.

gilt zunächst zu unterscheiden zwischen dem eigentlichen Getriebespiel und der Torsionssteifigkeit. Erst das Zusammenspiel beider Eigenschaften bestimmt letztlich die Positioniergenauigkeit eines Antriebssystems.

Für die Reduzierung des Verdrehspiels stehen unterschiedliche konstruktive Lösungen zur Verfügung. Eine Möglichkeit bietet die Beveloidverzahnung. Durch ihre konische Geometrie kann das Flankenspiel gezielt eingestellt und prozesssicher reproduziert werden. Die Einstellung erfolgt beispielsweise über Laminumscheiben.

Weitere Ansätze sind definierte Vorspannungen innerhalb des Getriebes oder das gezielte Paaren von Verzahnungskomponenten nach Fertigungstoleranzen. Je nach Anwendung lässt sich das Verdrehspiel dadurch erheblich reduzieren oder sogar vollständig eliminieren.

Ebenso entscheidend ist jedoch die Fertigungsqualität. Hochpräzise Schleif- und

Verzahnungsprozesse sowie moderne Messtechnik sorgen dafür, dass theoretisch entwickelte Konzepte auch reproduzierbar in die Serienfertigung überführt werden können.

Erst das Zusammenspiel aus Entwicklung, Simulation und Fertigung bildet das SPN-Optimierungs-Pentagon, bei dem Spielfreiheit als fünfte Dimension die klassischen Entwicklungsziele ergänzt.

### Vom mechanischen Bauteil zum intelligenten Getriebe

Parallel zur mechanischen Optimierung entwickelt sich das Getriebe zunehmend zu einem intelligenten System. Sensoren zur Erfassung von Temperatur, Drehmoment oder Schwingungen ermöglichen eine kontinuierliche Zustandsüberwachung. Aus diesen Daten entstehen digitale Zwillinge und Drive-Monitoring-Konzepte, die Rückschlüsse auf Verschleiß, Lastzustände und Wartungsintervalle erlauben. Predictive Maintenance wird damit zu einem integralen Bestandteil moderner Antriebssysteme.

Die Anforderungen an Präzisionsgetriebe werden auch künftig weiter steigen. Neben Wirkungsgrad, Drehmomentdichte, Geräuschentwicklung und Lebensdauer gewinnt insbesondere die Spielfreiheit als fünfte Optimierungsdimension an Bedeutung. Entscheidend ist dabei jedoch nicht die isolierte Betrachtung einzelner Komponenten, sondern das Zusammenspiel aus Verzahnungstechnologie, Simulation, Tribologie, Fertigungskompetenz und intelligenter Sensorik.

Nur durch diesen ganzheitlichen Engineering-Ansatz lassen sich kundenspezifische Getriebe entwickeln, die den steigenden Anforderungen moderner Anwendungen dauerhaft gerecht werden.

« TB

Florian Kotz ist Entwicklungsingenieur bei der SPN Schwaben Präzision Fritz Hopf GmbH.

**NEBEN DEN VIER ETABLIERTEN OPTIMIERUNGSZIELEN RÜCKT ZUNEHMEND EIN WEITERER PARAMETER IN DEN MITTELPUKT: DIE SPIELFREIHEIT. DABEI GILT ZUNÄCHST ZU UNTERSCHIEDEN ZWISCHEN DEM EIGENTLICHEN GETRIEBESPIEL UND DER TORSIONSSTEIFIGKEIT.**



Durch ihre konische Geometrie ermöglicht die Beveloidverzahnung eine präzise Einstellung des Flankenspiels und reduziert so das Verdrehspiel auf ein Minimum.

# LAUFRUHIGE ANTRIEBE FÜR FITNESS & REHA

Die Q+-Geräte von Milon Industries setzen Maßstäbe im smarten Kraft- und Rehatraining. Für die präzise Steuerung und die individuelle digitale Anpassung der Trainingsprogramme sorgt Antriebstechnik von Stöber. Die integrierten Kegelradgetriebe überzeugen durch ihr kompaktes Design und sind dank Schrägverzahnung besonders laufruhig – ein entscheidender Vorteil für die angenehme Atmosphäre in modernen Fitness- und Therapiezentren. » VON SILVIA FEDER



**Präzise Steuerung im Hintergrund:** Für die adaptiven Widerstände der Milon-Geräte kommen kompakte Kegelradgetriebe von Stöber zum Einsatz. Dank ihrer Schrägverzahnung ermöglichen sie ein besonders leises und kontrolliertes Training.

**W**er an den Geräten von Milon trainiert, nimmt die dahinterliegende Antriebstechnik kaum wahr – ein bewusstes Qualitätsmerkmal der Gerätearchitektur. Darauf weist Wolfgang Zech hin, Leiter Supply Chain Management bei Milon. Milon industries zählt zu den Pionieren des digitalen Trainings. Seit über 50 Jahren entwickelt und produziert das Unternehmen intelligentes Equipment für Fitness- und Gesundheitseinrichtungen. Dazu gehören unter anderem Kraft- und Ausdauergeräte.

Die Milon Q+-Serie verbindet digitale Funktionen mit einer individuell einstellbaren Trainingssteuerung und moderner Chip-Technologie. Jedes Gerät erkennt den Nutzer automatisch, speichert die relevanten Trainingsdaten und stellt adaptive Widerstände sowie ein unmittelbares Feedback für die einzelnen Programme bereit. Nach Auswahl des Widerstandsniveaus per Knopfdruck passt die Steuerung die Belastung über den ge-

samten Bewegungsbereich automatisch an. So entsteht ein gleichmäßiger, kontrollierter Bewegungsablauf – sowohl bei exzentrischen als auch bei konzentrischen Belastungen. Integrierte Sensoren erfassen Wiederholungen, Widerstände und Belastung, analysieren die Trainingsfortschritte und passen die Programme gezielt an. Je nach persönlichem Bedarf eignet sich die Serie für unterschiedliche Einsatzbereiche – vom leistungsorientierten Krafttraining über Gewichtsreduktion bis hin zu therapeutischen Anwendungen – und ermöglicht Training auf unterschiedlichsten Leistungsniveaus.

## Vom klassischen Maschinenbau in die Fitnessbranche

Die Anforderungen an die Antriebstechnik unterscheiden sich je nach Einsatzumgebung deutlich. Während in klassischen Fitnessstudios das allgemeine Geräuschniveau eine untergeordnete Rolle spielt, werden in

**DIE EINGESETZTEN KEGELRADGETRIEBE SIND KOMPAKT UND DANK IHRER SCHRÄGVERZÄHNUNG AUCH BESONDERS LAUFRUHIG – EINE ENTSCHEIDENDE ANFORDERUNG, INSBESONDERE IM STUDIO- UND THERAPIEBEREICH.**

Reha- und Gesundheitseinrichtungen ruhige Bewegungsabläufe und ein störungsarmer Betrieb erwartet, da sie eine reizarme Trainings- und Therapiesituation unterstützen. „Deswegen waren wir gezielt auf der Suche nach einer Antriebslösung mit hoher Laufruhe“, erläutert Wolfgang Zech.

Motoren und Getriebe liefert Antriebsspezialist Stöber aus Pforzheim. „Wir sind einer der wenigen Hersteller, die schrägverzahnte Kegelradgetriebe fertigen“, sagt Florian Sonnenberg, Vertriebsingenieur bei Stöber. „Damit ermöglichen wir eine besondere Laufruhe – und eine hohe Leistungsdichte.“ Ein Alleinstellungsmerkmal, das Milon überzeugte. In Kombination mit den eingesetzten Motoren entstehen kompakte Antriebseinheiten, die sich gut in den begrenzten Bau- raum der Geräte integrieren lassen.

Für Stöber war die Anwendung dennoch ungewöhnlich. „Wir konnten uns anfangs schwer vorstellen, dass unsere Motor-Getriebe-Kombination, die eigentlich für den klassischen Maschinenbau konzipiert ist, nun auch in einer komplett anderen Branche zum Einsatz kommt – und dann noch in die doch recht kompakten Geräte passt“, erinnert sich Florian Sonnenberg.

## Antriebstechnik verbessert Training

Mit seiner Lösung unterstützt Stöber seinen Kunden Milon dabei, die Trainingsbedingungen für Anwender gezielt zu verbessern und



Platzsparend und leistungsstark: Die kompakten Motor-Getriebe-Kombinationen von Stöber lassen sich ideal in den begrenzten Bauraum der Milon-Trainingsgeräte integrieren und ermöglichen so deren schlankes Design.

sich in einem wettbewerbsintensiven Marktumfeld zu positionieren. „Es gibt einige Mitbewerber, die preisgünstigere Alternativen anbieten“, weiß Wolfgang Zech. Bei Trainings- und Gesundheitsanwendungen komme es jedoch entscheidend auf die Qualität der eingesetzten Technik und die Zuverlässigkeit im Dauerbetrieb an.

Ein weiterer wichtiger Punkt, der für die Stöber-Lösung spricht: die Langlebigkeit der eingesetzten Komponenten. Die Getriebe und Motoren sind auf einen dauerhaften

Betrieb ausgelegt und verfügen über eine Schmierung auf Lebenszeit. Da im Betrieb nur geringe Wärme entsteht und sich der Innendruck im Getriebe kaum erhöht, ist der Verschleiß der Wellendichtungen entsprechend gering. Dies trägt zu einer hohen Betriebssicherheit und langen Wartungsintervallen im Studio- und Therapiebetrieb bei.

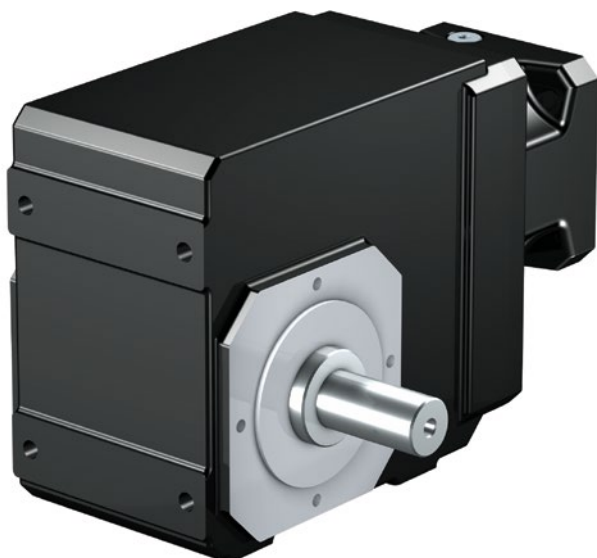
#### Potenzial für weitere Anwendungen

Die Stöber Getriebe haben überzeugt. Künftig plant Milon eine weitere Geräteserie, die stärker auf die jüngere Generation der Kraftsport-Begeisterten ausgelegt ist. In diesem Segment stehen Effizienz, Belastbarkeit und zusätzliche Freiheitsgrade im Vordergrund, während akustische Anforderungen eine geringere Rolle spielen. Sollte die geplante Geräteserie weiter konkretisiert werden, steht Stöber Milon gerne weiterhin als technischer Partner zur Seite – mit Ideen und effizienten Antriebslösungen für anspruchsvolle Anwendungen. **« TB**

Silvia Feder ist Head of Marketing bei Stöber Antriebstechnik.

» **WIR SIND EINER DER WENIGEN HERSTELLER, DIE SCHRÄGVERZAHNTE KEGELRADGETRIEBE FERTIGEN. DAMIT ERMÖGLICHEN WIR EINE BESONDERE LAUF RUHE - UND EINE HOHE LEISTUNGSDICHTE.** «

FLORIAN SONNENBERG

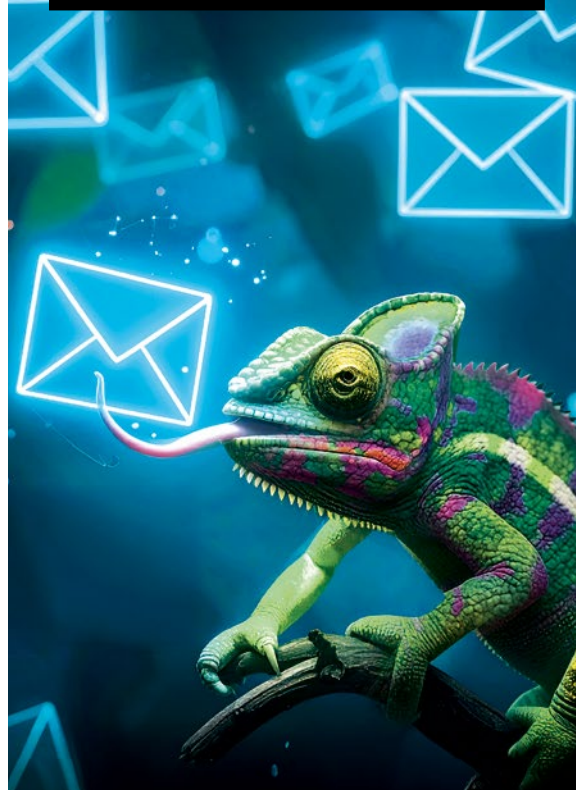


Das kompakte schrägverzahnte Kegelradgetriebe in schwarzem Gehäuse verfügt über eine silberne Welle. Die Bauweise ermöglicht eine hohe Leistungsdichte bei maximaler Laufruhe. Ergebnis ist ein flüsterleiser Betrieb, der eine störungsfreie Atmosphäre in Fitness- und Reha-Einrichtungen garantiert.

Bilder: Stöber Antriebstechnik

**AUS DEM  
BRANCHENDICKICHT  
GESCHNAPPT!**

**DER  
NEWSLETTER,  
DER ZU  
IHNEN PASST.**



Wissen, das kleben bleibt – jetzt den **NEWSLETTER** kostenfrei sichern.



**[www.digital-engineering-magazin.de/newsletter](http://www.digital-engineering-magazin.de/newsletter)**

**DIGITAL ENGINEERING** MAGAZIN

eine Marke vom

**WIN  
VERLAG**

# EFFIZIENTE, ROBUSTE AKTUATOREN FÜR MODERNE ROBOTIK

Maxons High Efficiency Joints (HEJ) sind vollintegrierte Aktuatoren für moderne Robotik: Motor, Planetengetriebe, Elektronik, Encoder und Lager in IP67-Gehäuse. Mit hohen Wirkungsgraden (>75 %), EtherCAT, Drehmomenterfassung und robuster Getriebe-Architektur liefern sie energieeffiziente, fehlertolerante und skalierbare Antriebe für humanoide, mobile und industrielle Systeme. » VON MARIO MAUERER

**D**ie HEJs sind vollintegrierte robotische Aktuatoren für moderne mobile und interaktive Robotersysteme. Sie kombinieren Motor, Planetengetriebe, integrierte Elektronik, Encoder, Kreuzrollenlager und ein robustes, IP67-geschütztes Gehäuse in einem kompakten System. Ausgelegt sind sie für Anwendungen wie Humanoide, Vierbeiner, fahrende oder kettenbasierte mobile Plattformen, mobile Manipulation, Exoskelette, oder industrielle Robotik. Charakteristisch sind dabei hohe Drehmoment- und Leistungsdichten, EtherCAT-Kommunikation, eine integrierte Drehmomenterfassung sowie Simulationsmodelle für die Einbindung in moderne Entwicklungsumgebungen. Spannenderweise ergeben sich auch ungewöhnliche Anwendungen ausserhalb der Robotik: Von industri-

ellen automatischen Schraubendrehern über Kletterseilantriebe hin zu Pan/Tilt-Systemen, welche primär der hohen Integrationsdichte dieser Antriebe geschuldet sind.

Besonders relevant ist die HEJ-Familie dort, wo Robotik dynamisch, energieeffizient und gleichzeitig robust gegenüber realen Umgebungsbedingungen sein muss. Bei Laufrobotern, humanoiden Beinen oder dynamischen Manipulatoren gehören Kollisionen, oder unvorhersehbare Lastfälle zum Alltag. Ein Aktuator muss in solchen Situationen nicht nur leistungsfähig, sondern auch fehlertolerant und mechanisch widerstandsfähig sein. Genau deshalb setzt Maxon bei den HEJs auf eine robuste Planetengetriebe-Architektur mit hoher Überlastfähigkeit.

## Warum Planetengetriebe heute überzeugen

Ein wesentlicher Unterschied zu klassischen Robotikparadigmen liegt dabei in der Bewertung des Getriebekonzepts. Lange Zeit dominierten in vielen Manipulatoren vor allem hochpräzise, möglichst spielfreie Konzepte. In der modernen mobilen Robotik hat sich die Lage jedoch verschoben. Heute sind planetengetriebene Systeme für viele Manipulatoren und mobile Roboter akzeptiert. Der Grund ist simpel: Moderne Regelungsverfahren, gute Zustandsbeobachtung und leistungsfähige Software können Nichtlinearitäten deutlich besser kompensieren. Dadurch wird es möglich, mit weniger komplexer und besser skalierbarer Hardware dennoch sehr

**MIT ZUNEHMENDER STÜCKZAHL, LÄNGERER EINSATZDAUER UND ENGERER MENSCH-ROBOTER-INTERAKTION WIRD FUNKTIONALE SICHERHEIT VOM RANDTHEMA ZUR GRUNDVORAUSSETZUNG.**



Der HEJ 90 ist ein Quasi-Direct-Drive-Aktuator mit integrierter Elektronik, Planetengetriebe und Encoder in einem robusten IP67-Gehäuse und wurde für hohe Drehmoment- und Leistungsdichte in mobilen sowie humanoiden Robotersystemen ausgelegt.

Bilder: Maxon Motor

hohe Gesamtsystemleistung zu erreichen. In diesem Sinne ist das Planetengetriebe nicht der Kompromiss von gestern, sondern oft die wirtschaftlich und technisch kluge Wahl für die Robotik von heute.

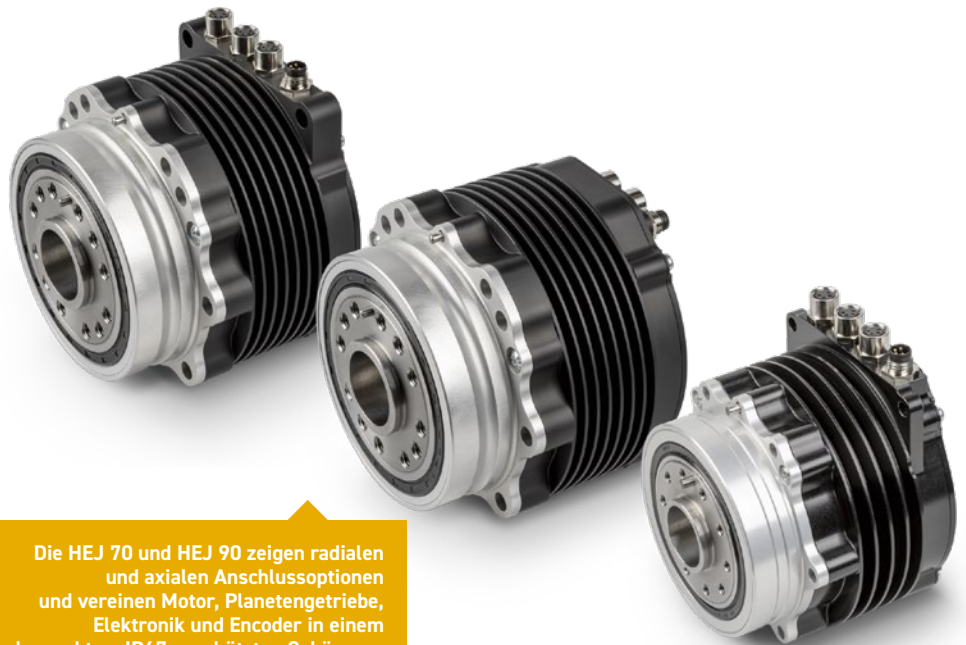
Das wird besonders klar, wenn man auf den Wirkungsgrad blickt. Die HEJs sind als Quasi-Direct-Drive-Aktuatoren ausgelegt und zielen auf eine sehr hohe Effizienz ab. Die Systeme erreichen typischerweise mehr als 75 Prozent Gesamteffizienz; die Getriebestufe selbst erreicht Spitzenwirkungsgrade von über 93 Prozent. In der Praxis bedeutet das: Weniger Verlustwärme, geringerer Kühlaufwand, längere Batterielaufzeiten und mehr nutzbare Dauerleistung im realen Robotereinsatz.

### Integrierte Regelung reduziert die Sim2Real-Lücke

Zur Leistungsfähigkeit trägt nicht nur der mechanische Aufbau bei, sondern ebenso die integrierte Elektronik. Die HEJs verfügen über eine anspruchsvolle integrierte Regelung mit Impedanzregelung, Drehmomentmessung und Nichtlinearitätskompensation. Genau diese Kombination ist für moderne Robotik zentral: Der Aktuator verhält sich kontrollierbar und im Ergebnis näherungsweise linear. Damit verkleinert sich auch die Sim2Real-Lücke, also die Differenz zwischen Simulationsmodell und realem Systemverhalten. Wer Robotik skalieren will, braucht nicht nur gute Hardware oder gute Software, sondern Bausteine, die sich im Zusammenspiel vorhersagbar verhalten und sauber modellieren lassen.

**DASS MAXON IN DIESEM UMFELD ZUSÄTZLICH RISIKOANALYSE, CO-DESIGN UND SAFETY-BERATUNG ADRESSIERT, ZEIGT, DASS DIE FIRMA DIE NÄCHSTE ENTWICKLUNGSSTUFE DER ROBOTIK NICHT NUR TECHNISCH, SONDERN SYSTEMISCH DENKT.**

Hinzu kommt die Frage der Skalierbarkeit. Viele Robotikkonzepte scheitern nicht an der ersten funktionsfähigen Einheit, sondern an der Reproduzierbarkeit in Serie. Genau hier spielt Maxon seine tiefe vertikale Integration aus. Das Unternehmen entwickelt und produziert zentrale Komponenten wie Motoren, Getriebe und Elektronik im eigenen Haus und kann dadurch Performance, Qualität, Kosten, Lieferfähigkeit und Anpassbarkeit



Die HEJ 70 und HEJ 90 zeigen radialen und axialen Anschlussoptionen und vereinen Motor, Planetengetriebe, Elektronik und Encoder in einem kompakten, IP67-geschützten Gehäuse — ideal für mobile und humanoide Robotik.

gezielt zusammenführen. Diese vertikale Integration ist ein entscheidender Hebel, um hochintegrierte Robotikbausteine nicht nur als Prototypen, sondern in industriell relevanten Stückzahlen anzubieten. Gleichzeitig erlaubt sie sinnvolle kundenspezifische Anpassungen, etwa bei Übersetzungen, Sensorik, Steckern oder Kabellösungen. Das beste Kabel ist „kein Kabel“.

### Baukastensystem für skalierbare Robotik

Die Portfolio-Logik der HEJ-Familie unterstreicht diesen Skalierungsanspruch. Mit Größen wie HEJ 50, HEJ 70, HEJ 90 und der größeren, sich in Entwicklung befindenden „Hercules“-Variante adressiert Maxon unterschiedliche Leistungsbereiche. Von kompakter mobiler Manipulation bis zu hochdynamischen Laufantrieben. Die Systeme sind damit nicht nur leistungsfähig, sondern auch gut skalierbar über mehrere Robotertypen hinweg. Genau diese Kombination aus Performance, Baukastendenken und Kostenoptimierung wird in den kommenden Jahren entscheidend sein, wenn aus der heutigen Robotikdynamik belastbare Märkte entstehen. Dass weltweit bereits mehrere moderne Robotersysteme mit HEJs auf den Markt kommen oder sich in Entwicklung befinden, passt in dieses Bild.

Dabei versteht Maxon die Robotik ausdrücklich breiter als nur Gelenkaktuatoren. Das Unternehmen positioniert sich als Anbieter integrierter robotischer Bausteine: Von Antrieben für autonome mobile Fahrzeuge über Aktuatoren für chirurgische Robotik bis hin zu Lösungen für Raumfahrtanwendungen. Gerade diese Breite ist interessant,

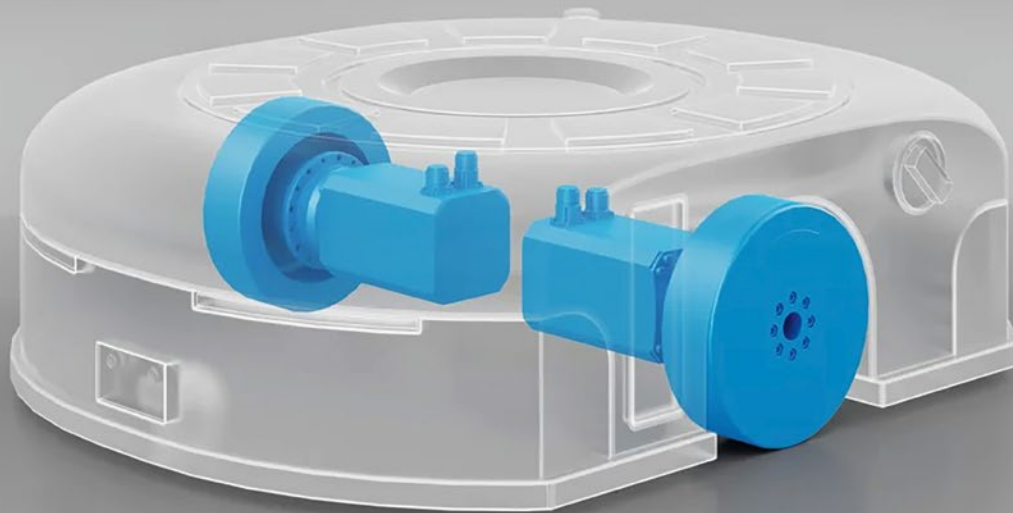
weil sich viele Kompetenzen zwischen den Feldern übertragen lassen: Präzision, Robustheit, Zertifizierungsfähigkeit, Skalierbarkeit und mechatronische Integration. Hinzu kommt ein breites Angebot für Endeffektoren und deren Subsysteme. Denn die eigentliche Wertschöpfung eines Roboters entsteht oft am „Business-End“: dort, wo gegriffen, betätigt, geführt, dosiert oder interagiert wird. Endeffektoren müssen präzise, robust, hochintegriert und in vielen Freiheitsgraden skalierbar sein. Alles Disziplinen, in denen Maxon seine Stärken ausspielen kann.

### Mehr als KI: Systemdenken statt Show

Parallel dazu verändert sich auch das Umfeld der Robotik. Der aktuelle Hype um humanoide Systeme beschleunigt Innovation, aber er darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass zentrale Forschungs- und Entwicklungsfragen weiterhin offen sind. Insbesondere Manipulation bleibt ein sehr schwieriges Problem. Erfolgreiche Manipulation erfordert nicht nur „AI“ im Schlagwortsinn, sondern das koordinierte Zusammenspiel von Wahrnehmung, Reasoning, Regelung, Mechanik, Sicherheitsarchitektur, Systemengineering und belastbarer Lieferkette. KI ist dabei ein wichtiger Baustein, aber eben nur ein Baustein. Digitale Wahrnehmung, Reinforcement Learning, modellbasierte Verfahren, Regelungstechnik und robuste Hardwareentwicklung müssen zusammenkommen, wenn aus beeindruckenden Videos verlässliche Robotikprodukte werden sollen.

« TB

Mario Mauerer arbeitet in der Geschäftsfeldentwicklung und im Produktmanagement Robotik bei Maxon Motor.



Mit BlueRoll bietet Bonfiglioli eine innovative Kombination aus Getriebe und Antriebsrad, die speziell für fahrerlose Transportsysteme (AGVs) und autonome mobile Roboter (AMRs) entwickelt wurde.

# ANTRIEBSPAKETE FÜR DIE INTRALOGISTIK

Mit einem umfassenden Portfolio an Antriebslösungen unterstützt Bonfiglioli die steigenden Anforderungen in Logistik, Intralogistik und Material Handling. Von hochdynamischen Servoanwendungen über effiziente Fördertechnik bis hin zu Antriebssystemen für autonome mobile Roboter bietet das Unternehmen aufeinander abgestimmte mechatronische Lösungen für unterschiedlichste Einsatzbereiche. » **VON ALESSIO VENTURELLI**

**F**ür Anwendungen wie Palettierer, Flow-Pack-Prozesse und kompakte Lagerlifte stellt der Servomotor der BMD-Baureihe die ideale Lösung dar. Der Permanentmagnet-Synchronmotor überzeugt durch seine kompakte Bauweise und ein geringes Trägheitsmoment. Hochwertige Neodym-Magnete in Verbindung mit einem optimierten Design gewährleisten Präzision, Dynamik und Geschwindigkeit. Die Motoren sind mit modernster Drehgebertechnologie ausgestattet und speziell für den Einsatz mit Frequenzumrichter und Präzisions-Planetengetrieben ausgelegt. Dank zahlreicher Optionen und eines modularen Produktdesigns lassen sich die Antriebe flexibel an unterschiedliche Anforderungen anpassen. Eine optionale Schwungmasse verbessert das Regelverhalten bei Anwendungen mit hoher

Trägheit. Darüber hinaus stehen Bremsen sowie eine Fremdbelüftung zur Verfügung, die den Leistungsbereich im Dauerbetrieb erweitern und auch bei anspruchsvollen Umgebungstemperaturen zuverlässigen Betrieb gewährleisten.

Der BMD-Servomotor kann mit drei verschiedenen Getriebebaureihen kombiniert werden: dem Präzisions-Planetengetriebe der TQ-Baureihe, dem Kegelstirnradgetriebe der A-Baureihe sowie dem modularen Stirnrad-Parallelwellengetriebe der F-Baureihe. Ergänzt wird das System durch den Frequenzumrichter AxiaVert. Dieser wurde für anspruchsvolle und komplexe Anwendungen entwickelt und zeichnet sich durch seine modulare Architektur, umfangreiche Sicherheitsfunktionen sowie fortschrittliche Motion-Control-Funktionen aus. Die Unterstützung der FSoE-Kommunikation reduziert

den Verkabelungsaufwand erheblich, da die gesamte Kommunikation zwischen Frequenzumrichter und SPS über den Feldbus erfolgt.

## Präzision für Servoanwendungen

Das Präzisions-Planetengetriebe der TQ-Baureihe setzt Maßstäbe in seiner Klasse. Überall dort, wo hohe Drehmomentdichte, maximale Belastbarkeit, höchste Präzision und minimale Vibrationen gefordert sind, bietet die TQ-Baureihe die optimale Lösung. Sie wurde speziell für die Anforderungen moderner Servoanwendungen entwickelt und eignet sich ideal für hochdynamische Prozesse mit häufigen Richtungswechseln, präziser Positions- und Bewegungsregelung sowie zahlreichen Start-Stopp-Zyklen. Die Baureihe steht für maximale Leistungsdichte, hohe Überlastfähigkeit und exzellente Positioniergenauigkeit. Optional sind verstärkte

Lager für hohe axiale und radiale Belastungen erhältlich. Dank ihrer Auslegung für Dauer- und Zyklusbetrieb sowie ihres universellen Designs bietet die TQ-Baureihe ein Höchstmaß an Flexibilität und einen besonders geräuscharmen Betrieb.

### **Zuverlässige Lösungen für Lagerlifte und Fördertechnik**

Der Getriebemotor der F-Baureihe ist ein zentraler Bestandteil des Lösungspakets für kompakte Lagerlifte. Er überzeugt durch seine hohe Zuverlässigkeit, robuste Konstruktion und kompakte Bauweise bei gleichzeitig geringem Wartungsaufwand. Der breite Leistungsbereich wird durch zahlreiche konstruktive Vorteile ergänzt, darunter eine integrierte Drehmomentstütze mit Schwingungsdämpfung, vielfältige Übersetzungsvarianten sowie kompakte Motoradapter oder Adapter mit IEC- beziehungsweise NEMA-Flansch.

Für Förderbandsysteme bietet Bonfiglioli eine leistungsfähige Antriebslösung auf

Basis der Kegelstirnradgetriebe der A-Baureihe. Diese werden mit einem synchronen BSR-Reluktanzmotor und dem dezentralen, sensorgestützten DGM-Frequenzumrichter in Schutzart IP65 kombiniert.

### **Effizienz und Energieeinsparung mit der A-Baureihe**

Die A-Baureihe vereint hohe Effizienz, Zuverlässigkeit und einen breiten Drehmomentbereich bei gleichzeitig niedrigen Wartungskosten. Ihre rechtwinklige Bauform ermöglicht eine besonders platzsparende Integration. Die Kombination aus rechtwinklig angeordnetem An- und Abtrieb sowie einer speziell entwickelten Zahnradsatzkonfiguration macht die A-Baureihe zu einer der effizientesten und langlebigsten Lösungen für Anwendungen im Leicht- und Mittellastbereich. Zu den wichtigsten Merkmalen zählen die hohe Modularität, die kompakte Bauweise zur Reduzierung des Einbauraums, zahlreiche verfügbare Abtriebsdrehzahlen sowie ein geringes Verdrehspiel. Die Baureihe eignet

sich hervorragend für dynamische Anwendungen und trägt maßgeblich zur Steigerung der Energieeffizienz bei. Dank der verfügbaren ATEX-Ausführung ist sie zudem für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen der Zonen 2G und 2D geeignet.

### **Unterstützung der Material-Handling-Prozesse durch AMRs**

Mit BlueRoll bietet Bonfiglioli eine innovative Kombination aus Getriebe und Antriebsrad, die speziell für fahrerlose Transportsysteme (AGVs) und autonome mobile Roboter (AMRs) entwickelt wurde. Die Plattform zeichnet sich durch ihre kompakte Bauweise, hohe Energieeffizienz und lange Betriebsdauer aus.

Das modulare Antriebssystem ist in den Varianten Basic, Advanced und Compact erhältlich. Je nach Ausführung eignet es sich für Lasten von 360 bis 1.020 Kilogramm und ermöglicht Fahrgeschwindigkeiten von bis zu zwei Metern pro Sekunde.

Bonfiglioli verfolgt einen integrierten Lösungsansatz mit dem Ziel, Kunden ein vollständiges Antriebspaket für AGVs und AMRs bereitzustellen. Dieses umfasst neben Getriebe und Antrieb auch die entsprechende Steuerungstechnik. Dadurch lassen sich schlüsselfertige Lösungen realisieren und der Bedarf an zusätzlichen Schnittstellenkomponenten auf ein Minimum reduzieren.

Gleichzeitig erweitert das Unternehmen sein Portfolio kontinuierlich, insbesondere im Hinblick auf höhere Tragfähigkeiten, um den steigenden Anforderungen des Robotikmarktes gerecht zu werden. Die Produktpalette reicht von standardisierten Präzisionsgetrieben und Getriebemotoren über spezielle Motoren für Achsbewegungen bis hin zu vollständig kunden-spezifischen Lösungen und integrierten Antriebssystemen für AGVs und AMRs.

Durch die enge Zusammenarbeit mit Kunden bereits in der Entwicklungsphase schafft Bonfiglioli einen deutlichen Mehrwert. Dies ermöglicht eine optimale Leistungsanpassung, verkürzt die Markteinführungszeit und trägt nachhaltig zur Senkung der Gesamtkosten bei. **« KF**

**Alessio Venturelli** ist Global Sales Manager Material Handling & Packaging bei Bonfiglioli.



Der Frequenzumrichter AxiaVert wurde für anspruchsvolle und komplexe Anwendungen entwickelt.  
Bilder: Bonfiglioli

# MAXIMALE SICHERHEIT IN EX-BEREICHEN

Ob Chemieindustrie, Raffinerien, Biogasanlagen, Mühlenbetriebe oder Lebensmittelverarbeitung – überall dort, wo brennbare Gase, Dämpfe oder Stäube auftreten können, gelten höchste Anforderungen an die Antriebstechnik. Eine zentrale Rolle spielen ATEX-Kupplungen, die speziell für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen entwickelt wurden. » VON JAN MÖLLER

In zahlreichen Industriebranchen gehören explosionsgefährdete Umgebungen zum Arbeitsalltag. ATEX steht für „Atmosphères Explosibles“ und bezeichnet die europäische Richtlinie 2014/34/EU für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen. Ziel dieser Richtlinie ist es, potenzielle Zündquellen zu vermeiden und dadurch Menschen, Maschinen sowie Produktionsanlagen zuverlässig zu schützen. Kupplungen, die nach ATEX zertifiziert sind, erfüllen strenge technische Anforderungen und tragen entscheidend zur Betriebssicherheit in sensiblen Industrieumgebungen bei.

## Mehr als Drehmomentübertragung

Die Anforderungen an moderne Kupplungen gehen dabei weit über die reine Drehmomentübertragung hinaus. Neben hoher Zuverlässigkeit müssen die Komponenten temperaturbeständig, wartungsarm und langlebig sein. Gleichzeitig sollen sie Schwingungen dämpfen, Wellenversätze ausgleichen und auch unter extremen Betriebsbedingungen dauerhaft sicher funktionieren. Besonders in automatisierten Produktionsprozessen kommt es auf höchste Präzision und maximale Ausfallsicherheit an.

Jakob Antriebstechnik bietet inzwischen diverse Kupplungsbaureihen in ATEX-zertifizierter Ausführung an. Dazu zählen Metallbalgkupplungen, Miniaturkupplungen sowie Distanzkupplungen. Darüber hinaus können auf Anfrage auch Elastomer- und Sicherheitskupplungen als explosionsgeschützte Variante gefertigt werden. Dadurch erhalten Anwender die Möglichkeit, unterschiedlichste Antriebslösungen auch in explosionsgefährdeten Bereichen sicher und normgerecht einzusetzen.

Die verwendeten Kupplungen müssen dabei nicht nur mechanisch zuverlässig ar-

beiten, sondern gleichzeitig sämtliche sicherheitsrelevanten Anforderungen erfüllen. Bereits kleinste Funkenbildungen oder unzulässige Oberflächentemperaturen könnten in bestimmten Umgebungen ausreichen, um eine Explosion auszulösen. Aus diesem Grund unterliegen ATEX-Kupplungen besonders strengen Prüf- und Kennzeichnungsvorschriften.

## ATEX-KUPPLUNGEN UNTERLIEGEN BESONDERS STRENGEN PRÜF- UND KENNZEICHNUNGSVORSCHRIFTEN.

Moderne explosionsgeschützte Kupplungen zeichnen sich durch präzise Fertigung, hochwertige Materialien und eine robuste Konstruktion aus. Durch optimierte Geometrien und hochwertige Werkstoffe lassen sich Reibung, Verschleiß und unerwünschte Temperaturentwicklungen minimieren. Gleichzeitig sorgen die Kupplungen für eine zuverlässige und spielfreie Drehmomentübertragung auch bei dynamischen Belastungen.



Die Metallbalgkupplung KG-VA – Ex von Jakob.

Besonders **Metallbalgkupplungen** werden häufig in anspruchsvollen ATEX-Anwendungen eingesetzt. Sie überzeugen durch ihre hohe Torsionssteifigkeit, ihre präzise Kraftübertragung und ihre Fähigkeit, Wellenversätze auszugleichen. Gleichzeitig arbeiten sie verschleißfrei und wartungsarm, was insbesondere in schwer zugänglichen Anlagenbereichen von großem Vorteil ist.

Auch **Distanzkupplungen** spielen in explosionsgefährdeten Bereichen eine wichtige Rolle. Sie ermöglichen größere Achsabstände zwischen Antrieb und Abtrieb und bieten dadurch konstruktive Vorteile bei komplexen Maschinenlayouts. Gleichzeitig gewährleisten sie eine sichere und spielfreie Drehmomentübertragung über größere Distanzen hinweg.

**Elastomerkupplungen** wiederum eignen sich besonders für Anwendungen, bei denen zusätzlich Schwingungen gedämpft oder Lastspitzen reduziert werden müssen. Durch ihre elastischen Elemente tragen sie dazu bei, Maschinenkomponenten zu entlasten und die Lebensdauer kompletter Antriebssysteme zu erhöhen.

## Normgerechte Dokumentation

Neben der eigentlichen Kupplungstechnik gewinnt auch die normgerechte Dokumentation zunehmend an Bedeutung. Betreiber von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen müssen sämtliche eingesetzten Komponenten eindeutig nachweisen und dokumentieren können. Eine eindeutige Kennzeichnung sowie vollständige technische Unterlagen sind deshalb unverzichtbare Bestandteile moderner ATEX-Lösungen.

Mit zunehmender Automatisierung industrieller Prozesse wächst die Bedeutung sicherer und zuverlässiger Antriebskomponenten stetig weiter. Moderne Produktionsanlagen arbeiten mit hohen Taktraten, komplexen





Auch Distanz-  
kupplungen wie  
die WD-VA gibt es  
nun in der ATEX-  
Ausführung.



Jakob Antriebstechnik  
bietet Kupplungen ver-  
schiedenster Bauarten  
als ATEX-Variante an.  
Bilder: Jakob Antriebstechnik

Bewegungsabläufen und steigenden Anforderungen an Effizienz und Verfügbarkeit. Gleichzeitig verschärfen sich in vielen Industriebereichen die gesetzlichen Sicherheitsanforderungen. Unternehmen sind daher auf hochwertige und normgerechte Komponenten angewiesen, die sowohl technische Leistungsfähigkeit als auch maximale Sicherheit gewährleisten.

### Weniger ungeplante Stillstandszeiten

ATEX-Kupplungen leisten hierzu einen entscheidenden Beitrag. Sie schützen nicht nur Menschen und Anlagen, sondern erhöhen gleichzeitig die Prozesssicherheit und reduzieren ungeplante Stillstandszeiten. Durch

**EINE NORMGERECHTE  
DOKUMENTATION  
GEWINNT ZUNEHMEND  
AN BEDEUTUNG.**

ihre hohe Zuverlässigkeit und lange Lebensdauer tragen sie zudem zu einer wirtschaftlichen und nachhaltigen Produktion bei.

Der Anbieter investiert kontinuierlich in die Weiterentwicklung seiner Kupplungslösungen und bietet Anwendern individuelle

Lösungen für unterschiedlichste Anforderungen. Das Unternehmen unterstützt Kunden bereits bei der Auslegung geeigneter Kupplungen und entwickelt auf Wunsch auch anwendungsspezifische Sonderlösungen. Durch die Kombination aus technischer Kompetenz, präziser Fertigung und hoher Flexibilität entstehen leistungsfähige Kupplungssysteme für moderne Industrieanwendungen.

Insbesondere in sicherheitskritischen Bereichen ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Anlagenbetreiber, Konstruktion und Kupplungshersteller entscheidend. Nur so lassen sich optimale Lösungen entwickeln, die sowohl den technischen Anforderungen als auch den gesetzlichen Vorschriften gerecht werden. Mit ihrem breiten Einsatzspektrum, ihrer hohen Zuverlässigkeit und ihrer normgerechten Ausführung gehören ATEX-Kupplungen heute zu den wichtigsten Komponenten moderner explosionsgeschützter Antriebstechnik. Sie ermöglichen sichere Produktionsprozesse, schützen Mensch und Maschine und sorgen gleichzeitig für maximale Effizienz und Betriebssicherheit in anspruchsvollen Industrieumgebungen. « KIS

Jan Möller arbeitet im Marketing bei Jakob Antriebstechnik.

# HÄNG DICH AN DEN DIGITAL THREAD.

DER ROTE FADEN  
FÜR DEINE PROJEKTE.



Jetzt Magazin abonnieren und Projekte mit relevantem Wissen voranbringen:

**[www.digital-engineering-magazin.de/abonnement](http://www.digital-engineering-magazin.de/abonnement)**

**DIGITAL ENGINEERING** MAGAZIN

eine Marke vom

**WIN  
VERLAG**

# FÜR JEDEN ANTRIEB DIE PASSENDE LÖSUNG

Das Unternehmen KBK aus dem bayerischen Klingenberg fertigt eines der größten Antriebs-technik-Sortimente am Markt. Zum Einsatz kommen die Produkte unter anderem in Anlagen, mit denen Flüssigkeiten gepumpt oder miteinander vermischt werden – zum Beispiel in der Lebensmittelindustrie bei der Käseherstellung. » VON HOLGER SEIDEL

**M**an muss etwas lauter reden, um sich in der großen Halle verständlich machen zu können. Der Geräuschpegel wird von den vielen Behältern verursacht, die hier eng aneinander gereiht stehen. Oder besser gesagt: Von dem Rührwerk in ihrem Inneren. Es handelt sich um sogenannte Käsefertiger, die in der ersten Stufe der Käseproduktion eine zentrale Rolle spielen. Käsefertiger haben die Aufgabe, die frisch angelieferte Milch dickzulegen, wie es in der Fachsprache heißt. Dazu werden Milchsäurebakterien und mikrobielles Lab hinzugegeben und vom Rührwerk etwa eine halbe Stunde lang unter die Milch gerührt. Bei Schnittkäse kommt noch Calcium hinzu, um die nötige Festigkeit zu erzielen.

## Alle Antriebslösungen aus einer Hand

In einer Großmolkerei übernehmen Pumpen den Transport der Milch von den Tanks zum Käsefertiger. Die Pumpe wird von einem Motor angetrieben, mit dessen Welle sie entweder über eine Kupplung, einen Klemmring oder eine Schrumpfscheibe verbunden ist. Der Antriebstechnikspezialist KBK hat alle

drei Lösungen im Produktprogramm. Als einer von ganz wenigen Herstellern fertigt das Unternehmen seine Schrumpfscheiben nicht nur in chemisch-vernickelter Ausführung sowie aus brüniertem Stahl und Edelstahl, sondern auch in vielen verschiedenen Größen und Bauformen.

## SPEZIELLE EDELSTAHL-SCHRAUBEN ERMÖGLICHEN DIE ÜBERTRAGUNG HOHER DREHMOMENTE.

### Spezialschrauben für hohe Drehmomente

Anders als bei Edelstahl-Schrumpfscheiben anderer Anbieter müssen Maschinenbauer bei den Produkten dieses Herstellers zudem keine Abstriche in puncto Drehmoment machen. Der Grund: „Wir lassen dafür spezielle Edelstahl-Schrauben herstellen, die die Übertragung hoher Drehmomente ermöglichen“, erzählt KBK-Geschäftsführer Sven Karpstein. „Herkömmliche Edelstahl-Schrumpfscheiben sind dagegen meist mit Schrauben einer

Der erste Schritt der Käseherstellung ist die Dicklegung der Milch.

Bild: © rh2010/stock.adobe.com

deutlich niedrigeren Festigkeitsklasse ausgestattet. Das Anzugsmoment muss bei diesen Schrauben daher reduziert werden, um die Schrauben nicht zu zerstören. Und ein niedrigeres Anzugsmoment bedeutet automatisch auch ein niedrigeres Drehmoment“, so Karpstein. Die Spezialschrauben aus Edelstahl bietet der Hersteller übrigens auch für seine Spannsätze und Kupplungen an.

Bei den Klemmringen haben die Unterfranken ebenfalls ein Alleinstellungsmerkmal: Sie übernehmen als einziger Hersteller auf Wunsch auch die individuelle Kalkulation und Auslegung dieser Antriebs Elemente. Das Interesse bei den Kunden ist groß, denn viele finden am Markt keine passenden Klemmringe für ihre Anwendung.

## Gründliche Durchmischung

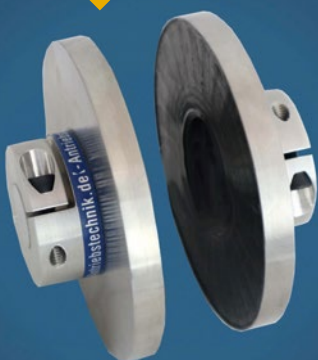
Im Käsefertiger sorgt ein Rührwerk für die kontinuierliche Umwälzung der Milch, das über eine starre Wellenkupplung mit einem Motor verbunden ist. Die Kupplung ist deshalb nötig, weil es im Fertiger keine zweite Lagerstelle für die Welle gibt, die für Stabilität sorgen könnte. Als einer von wenigen Herstellern fertigt das Unternehmen starre Wellenkupplungen mit unterschiedlichen Bohrungskombinationen und mit beidseitiger Passfedernut. Das Unternehmen ist sogar der einzige Produzent, der diesen Kupplungstyp für Wellendurchmesser bis 100 Millimeter fertigt.

## Mehr Flexibilität für Maschinenbauer

Starre Wellenkupplungen sind für die direkte Anbindung von Mischerarmen an Antriebe

Neuerscheinung:  
die Magnetscheibenkupplung AMK.

Bild: KBK Antriebstechnik



Starre Wellenkupplungen eignen sich sehr gut für die Anbindung von Mischerarmen an den Antrieb.

Bild: KBK Antriebstechnik





Die Tumbler werden in der Regel mit einem Riemenantrieb angetrieben. Zur Anbindung der Antriebs-/Abtriebsscheibe an die Welle eignen sich Spannsätze. „Wir kombinieren sie in der Regel mit einem Überlastschutz bzw. einer Drehmomentbegrenzung, um im Falle einer Blockade des Tumblers Schäden zu vermeiden.“ Kommt es zu Unwuchten, trennt die Überlastkupplung beide Teile des Antriebsstrangs mechanisch voneinander.

### Berührungslose Drehmoment-Übertragung

Die Magnetkupplungen werden ebenfalls oft an Behältern eingesetzt, die verschiedene Komponenten miteinander vermischen – besonders, wenn dabei flüssige Medien im Spiel sind. „Die Hersteller der Behälter versuchen aus praktischen und hygienischen



Ein Großteil der Antriebslösungen ist auch in Ex-zertifizierten Varianten erhältlich.

Bild: KBK Antriebstechnik

### KBK ÜBERNIMMT DIE INDIVIDUELLE KALKULATION UND AUSLEGUNG DER ANTRIEBSELEMENTE.

Gründen Schwachstellen wie Dichtungen oder Flanschverbindungen an den Anlagen zu vermeiden“, weiß Sven Karpstein. Deshalb werden in diesen Anwendungen oft Magnetscheibenkupplungen der Baureihe AMK verbaut: Sie können Drehmomente selbst durch dünnwandige, nicht-magnetische Gehäuse und Wandungen hindurch übertragen. Darüber hinaus gleichen sie Wellenversatz aus und schützen vor Überlast. Für Applikationen mit besonderen Anforderungen setzt das Unternehmen spezielle Magnete und Klebstoffe ein. Der Antriebstechnik-Spezialist unterstützt seine Kunden außerdem bei der Auslegung und Berechnung der erforderlichen Dreh- und Überlastmomente.

### Einsatz in ATEX-Zonen möglich

Die Antriebselemente sind in vielen Größen und Materialgüten erhältlich. Neben den Standardausführungen gibt es nicht nur Varianten aus Stahl, Edelstahl oder hochfestem Stahl. Mit Ausnahme der Magnetkupplungen sind alle Produkte zudem nach der ATEX-Richtlinie (2014/34/EU) zertifiziert. Sie können damit auch in Anwendungen wie der Lack-Herstellung oder an den Antrieben von Mahlwerken in Getreidemühlen eingesetzt werden.

« KIS

Holger Seidel arbeitet im Vertrieb bei KBK Antriebstechnik.

das Mittel der Wahl. Es gibt für diesen Zweck zwar noch die klassischen DIN-115-Schalenkupplungen. „Diese sind im Verhältnis zu unseren starren Kupplungen aber sehr groß, sehr schwer, sehr montageintensiv und relativ teuer“, gibt Geschäftsführer Sven Karpstein zu bedenken. Die Schalenkupplungen haben noch einen anderen Nachteil: Sie verfügen lediglich über eine einzige durchgängige Bohrung. Deshalb kann beispielsweise eine 50-Millimeter-Motorwelle nicht an eine 60-Millimeter-Mischerwelle angebunden werden. „Das geht nur mit einer starren Wellenkupplung von uns.“

### Verschiedene Materialqualitäten

Neben einteiligen starren Wellenkupplungen und Varianten in Halbschalenbauweise finden sich auch Ausführungen aus brüniertem Stahl und Edelstahl im Produktprogramm. Diese Kupplungen halten selbst Reinigungs-

und Desinfektionsmitteln problemlos stand, wie sie in der Lebensmittelindustrie verwendet werden. Grundsätzlich fertigt das Unternehmen alle seine Antriebselemente auf Wunsch auch in Edelstahl. Für Anwendungen mit sehr aggressiven Medien steht als Material zudem hochresistenter Chrom-Nickel-Stahl (1.4571) zur Verfügung.

### Antriebslösung für Tumbler

Zwei weitere Produkte, die oft in Anwendungen zum Vermischen von Komponenten eingesetzt werden, sind Spannsätze und Magnetkupplungen. „Bei den Spannsätzen haben wir eines der größten Sortimente am Markt“, so Sven Karpstein. Diese Antriebselemente werden unter anderem an sogenannten Tumblern verbaut: Das sind große Behälter, die sich um die eigene Achse bewegen, um etwa Fleisch und Marinade miteinander zu vermengen.

# WARUM SOFTWARE EIN STABILES FUNDAMENT BENÖTIGT

Das Fahrzeug entwickelt sich vom mechatronischen Produkt zur softwaregeprägten Plattform: Infotainment, Fahrerassistenz, Ladefunktionen und Cybersecurity hängen heute eng mit Software zusammen. Für Käufer ist das zunächst unsichtbar. Sie erwarten, dass Funktionen verfügbar sind, sich sicher aktualisieren lassen und über Jahre zuverlässig funktionieren. Für Hersteller und Zulieferer verändert sich damit aber die Logik der Entwicklung: Das Fahrzeug ist nicht mehr fertig, wenn es vom Band rollt. » VON MICHELE DEL MONDO

**V**iele Debatten über das Software-Defined Vehicle (SDV) beginnen bei Betriebssystemen, Middleware oder Over-the-Air-Updates. Das greift jedoch zu kurz. Die entscheidenden Weichen werden viel früher gestellt, nämlich schon bei Anforderungen, Architekturen und Varianten. Bereits im Anforderungsmodell muss festgelegt sein, wie eine Funktion technisch, sicherheitsrelevant und variantenbezogen in das Gesamtfahrzeug eingebettet ist. Nur wenn diese Abhängigkeiten früh sauber angelegt sind, lässt sich bei späteren Änderungen zuverlässig bewerten, welche Auswirkungen sie auf Architektur, Absicherung und Freigabe haben. Erst dann kann beurteilt werden, ob ein Eingriff kontrolliert in bestehende Fahrzeugprogramme übernommen werden kann. Wer hier zu spät ansetzt, riskiert, dass spätere Änderungen an Software oder Architektur erneute Freigaben

erforderlich machen oder bestehende Sicherheitsnachweise nachträglich infrage stellen.

## PLM und ALM müssen zusammenarbeiten

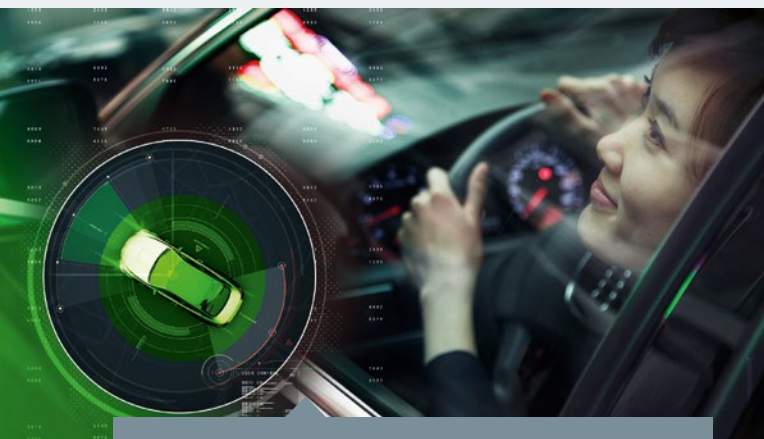
In der klassischen Fahrzeugentwicklung standen Produktstrukturen, Stücklisten und Fertigungsprozesse im Zentrum. Bei der Entwicklung softwaredefinierter Fahrzeuge verschiebt sich der Fokus, weil Funktionen nicht mehr allein durch physische Komponenten bestimmt werden. Software folgt anderen Zyklen als Hardware. Ein mechanisches Bauteil bleibt über Jahre relativ stabil, während Softwarefunktionen regelmäßig erweitert, korrigiert, neu konfiguriert oder für einzelne Fahrzeugvarianten freigegeben werden. Klassische PLM-Systeme sind auf diese Dynamik nicht ausgelegt, weil sie primär physische Produktstrukturen abbil-

den. Deshalb müssen PLM und ALM enger zusammengeführt werden.

Für ein belastbares Systemverständnis müssen mehrere Disziplinen technisch ineinandergreifen:

- **Product Lifecycle Management (PLM)** bildet die technische Produktstruktur ab, einschließlich Varianten, Konfigurationen, Stücklisten, Versionen und Revisionen.
- **Application Lifecycle Management (ALM)** verwaltet die softwarebezogenen Artefakte, etwa Anforderungen, Quellcode-Bezüge, Testfälle, Fehlerberichte, Sicherheitsanalysen und Freigaben.
- **Model-Based Systems Engineering (MBSE)** macht Systemarchitekturen, Schnittstellen und Abhängigkeiten modellbasiert sichtbar und verbindet damit mechanische, elektronische und softwarebezogene Entwicklungsperspektiven.

**Software braucht System:**  
Beim Software-Defined Vehicle entscheidet die frühe Verknüpfung von Anforderungen, Architektur und Varianten über spätere Updatefähigkeit.



Im Software-Defined Vehicle werden Funktionen, Sicherheit und Updates über den gesamten Lebenszyklus hinweg zur Engineering-Aufgabe.

Entscheidend ist die Verknüpfung dieser Ebenen auf Artefaktebene: Eine Softwarefunktion muss eindeutig einer Fahrzeugkonfiguration, den betroffenen Steuergeräten, den relevanten Anforderungen und den zugehörigen Verifikationsnachweisen zugeordnet werden können. Erst dadurch entsteht eine durchgängige technische Grundlage über Hardware, Elektronik und Software hinweg.

### Cybersecurity gehört in die Fahrzeugarchitektur

Mit jeder Schnittstelle wächst die Angriffsfläche und damit auch die sicherheitstechnische Komplexität eines Fahrzeuges. Cybersecurity muss daher bereits bei der Auslegung von Funktionen mitgedacht werden. Entscheidend ist, welche Daten eine Funktion verarbeitet, welche Steuergeräte beteiligt sind, über welche Schnittstellen Informationen übertragen werden und welche Auswirkungen ein möglicher Angriff auf Betriebssicherheit, Datenschutz oder funktionale Sicherheit hätte.

Regelwerke wie UNECE R155 und R156 sowie ISO/SAE 21434 machen daraus konkrete Anforderungen an Cybersecurity-Management und Software-Update-Management. Engineering-Teams müssen deshalb nachweisen können, dass Risiken systematisch bewertet und Sicherheitsanforderungen daraus abgeleitet wurden, dass Tests stattgefunden haben und Freigaben lückenlos dokumentiert sind. Besonders anspruchsvoll wird das bei Software-Updates im Feld. Jede Aktualisierung verändert ein bereits zugelassenes System und muss zur konkreten Fahrzeugkonfiguration, zum betroffenen Steuergerät und zum freigegebenen Softwarestand passen. Cybersecurity wird damit zu einer durchgängigen Engineering-Aufgabe.

### Der Intelligent Product Lifecycle als Ordnungsprinzip

Mit dem Produktionsstart ist ein SDV technisch nicht abgeschlossen. Es bleibt über seinen Lebenszyklus hinweg Teil eines aktiven Engineering-Prozesses. Wenn etwa ein auffälliges Verhalten im Batteriemanagement oder in einem Fahrerassistenzsystem erkannt wird, reicht es nicht aus, den Fehler isoliert zu analysieren. Entscheidend ist, den Befund präzise auf die betroffene Fahrzeugkonfiguration zurückzuführen und zu verstehen, welche technische Ursache dahinterliegt, welche Absicherung bereits erfolgt ist und welche Änderung regulatorisch neu bewertet werden muss.

**DER INTELLIGENT PRODUCT LIFECYCLE SORGT DAFÜR, DASS AUS VERTEILTEN PRODUKTDATEN EIN DURCHGÄNGIGES ENTSCHEIDUNGSBILD ÜBER DEN GESAMTEN LEBENSZYKLUS EINES FAHRZEUGS ENTSTEHT.**

Der Intelligent Product Lifecycle (IPL) verbindet Entwicklungsdaten, Softwarestände, Validierungsergebnisse und Felddaten so, dass Änderungen im Zusammenhang des realen Produkts bewertet werden können. Für Engineering-Teams entsteht dadurch ein belastbares Entscheidungsbild: Sie erkennen schneller, ob ein Update zusätzliche Tests erfordert oder Auswirkungen auf bereits freigegebene Funktionen hat. Gerade beim SDV wird diese Transparenz zur Voraussetzung, um Produktverantwortung über den Produktionsstart hinaus technisch sauber, auditierbar und effizient wahrzunehmen.

### KI-Agenten können Engineering entlasten

Agentic AI wird im Automotive Engineering heute vor allem dort interessant, wo klassische Automatisierung an ihre Grenzen stößt. Viele Unternehmen experimentieren bereits mit KI-gestützten Assistenten, doch der produktive Einsatz in sicherheits- und zulassungsrelevanten Entwicklungsprozessen bleibt anspruchsvoll. Ein KI-Agent kann nur dann belastbare Ergebnisse liefern, wenn er auf durchgängige Datenbasis zugreift. Ist diese Grundlage gegeben, kann Agentic AI Engineering-Teams erheblich entlasten, weil sie

technische Abhängigkeiten über Millionen von Datenpunkten hinweg sichtbar macht und damit genau jene Analysearbeit beschleunigt, die in komplexen Fahrzeugprogrammen oft mehrere Fachbereiche bindet.

### Am Ende entscheidet das Engineering-System

Die Unternehmen, die bei der SDV-Transformation erfolgreich sein werden, sind nicht zwingend die größten oder die mit den meisten Ressourcen. Es sind die, die ihre Entwicklungsprozesse konsequent auf die Anforderungen softwarebasierter Fahrzeugentwicklung ausrichten und Veränderung als festen Bestandteil

des Produkts beherrschen. Denn ein Software-Defined Vehicle ist nur so gut wie das System, das seine Funktionen entwickelt, absichert und über Jahre kontrolliert weiterführt.

« TB

Michele Del Mondo ist Senior Director Global Advisor Automotive bei PTC.



Der Intelligent Product Lifecycle verbindet Entwicklung, Validierung, Betrieb und Service, damit Änderungen am Fahrzeug nachvollziehbar und kontrolliert bewertet werden können.

Bilder: PTC



Die digitale Fabrik der Zukunft verbindet Planung, Entwurf, Bau, Produktion, Wartung und Optimierung miteinander, anstatt diese als separate Software-Phasen zu behandeln.

# VON DER VISUALISIERUNG ZUM EINSATZ

Bei Diskussionen über digitale Fabriken geht es oft um Anlagenüberwachung, Reduzierung von Ausfallzeiten, Verbesserung der Auslastung oder Erweiterung bestehender Betriebsabläufe um Prognosefunktionen. All dies sind wichtige Ziele. Der nächste entscheidende Schritt in der Automobilfertigung besteht jedoch darin, den laufenden Fabrikbetrieb viel enger mit jenen Entscheidungen zu verknüpfen, die bereits lange vor Produktionsstart getroffen werden. » VON ROBERT BRAY

**E**in modernes Automobilwerk ist nicht bloß ein Produktionssystem. Es ist eine komplexe physische Umgebung, in der Architektur, Ingenieurwesen, Bauwesen, Fertigung, Logistik, Instandhaltung, Arbeitssicherheit und Energieeffizienz zusammenspielen. Wenn diese Bereiche fragmentiert bleiben, führt dies nicht nur zu technischer Komplexität. Es führt auch zu langsameren Entscheidungsprozessen, weniger reibungslosen Übergaben zwischen den Projektphasen und geringerer Flexibilität, falls sich Rahmenbedingungen ändern. In einem Markt wie Deutschland, in dem die Wettbewerbsfähigkeit zunehmend von Arbeitskräftemangel, Kosten- und Anpassungsdruck beeinträchtigt wird, führt diese Fragmentierung zu einem strategischen Problem.

## Konvergenz wird zum eigentlichen Produktivitätshebel

Entscheidend ist nicht nur die Verbindung von digitalen und physischen Systemen, sondern auch die Verbindung von Planung, Bau, Betrieb, Entwurf und Fertigung. Für Automobilunternehmen ist deshalb der wertvollste digitale Zwilling der, der Informationen von der Planung über die Umsetzung bis in den laufenden Betrieb mitnimmt. Die Erkenntnisse aus der Praxis können dann wieder zurückfließen, um Entwürfe zu aktualisieren und zu verbessern. Deshalb gilt: Eine Fabrik ist in vielerlei Hinsicht ein hochkomplexes Gebäude. Wer sie nur als Produktionsanlage betrachtet, greift bei der Optimierung zu kurz. Versteht man die Fabrik hingegen als vernetzte Umgebung über den gesamten Lebenszyklus hinweg, wird die digitale Fabrik

zu einer Grundlage für bessere Entscheidungen – von Standortplanung und Layout über Inbetriebnahme, Durchsatz und Instandhaltung bis hin zu späteren Erweiterungen.

## Nicht Datenmangel ist das Problem, sondern fehlender Kontext

Die größte Herausforderung liegt dabei oft bei den Daten. Den meisten Betreibern fehlt es nicht an Informationen. Im Gegenteil: Sie haben zu viele Informationen, die nicht miteinander verbunden sind. Layouts, Laserscans, Modelle, Anlagenstammdaten, Instandhaltungssysteme, Maschinendaten, Steuerungsdaten und Prozessinformationen existieren häufig nebeneinander, ohne in einen gemeinsamen Kontext gebracht zu werden. Dadurch arbeiten Teams weiterhin mit unvollständigem Wissen.

In der Fertigung werden die Folgen schnell sichtbar. Stillstände sind dafür eines der deutlichsten Beispiele – und die finanziellen Auswirkungen können erheblich sein. So wurde auf dem „Automotive Innovation Forum 2026“ in Darmstadt darüber berichtet, dass Betreiber während ungeplanter Ausfallzeiten teils Umsatzverluste von rund 260.000 US-Dollar pro Stunde verzeichnen. Ob diese Zahl in einem bestimmten Werk höher oder niedriger liegt, ist dabei nicht der entscheidende Punkt. Entscheidend ist: Fehlender Kontext kostet Geld.

Genau hier verändert sich die Rolle des digitalen Zwillings. Lange wurden Digital Twins vor allem als Visualisierungstool verstanden. Heute liegt ihr größerer Wert im operativen Einsatz. Ein digitaler Zwilling ist dann besonders wirkungsvoll, wenn er Teams nicht nur zeigt, was passiert, sondern auch wo es passiert, womit es zusammenhängt, welche Folgen entstehen können und welche Handlungsoptionen bestehen. Dadurch lassen sich Erkenntnisse schneller in Maßnahmen übersetzen. Teams können entstehende Probleme früher erkennen, passende Gegenmaßnahmen ableiten und eingreifen, bevor diese Probleme die Produktion beeinträchtigen. In der Automobilindustrie wirkt sich dieser Kontext direkt auf Durchsatz, Qualität, Sicherheit und Flexibilität aus.

### Warum KI in der Fabrik mehr ist als ein weiterer Assistent

Künstliche Intelligenz kann diesen Wandel beschleunigen – aber nur, wenn sie die Realität industrieller Umgebungen berücksichtigt. In der Fabrik liegt der Wert von KI nicht allein in Spracherkennung oder dem Zusammenfassen von Informationen. Ihr eigentlicher Nutzen entsteht dort, wo sie fragmentierte Daten in verwertbaren Kontext übersetzt, die Flut an Dashboards reduziert und schnellere operative Entscheidungen ermöglicht.

Ein Anlagenbetreiber braucht nicht noch eine weitere isolierte Oberfläche. Er muss verstehen, welche Anlagen nicht ausgelastet sind, wo sich ein Fehlermuster abzeichnet, welcher Eingriff die geringsten Auswirkungen auf nachgelagerte Prozesse hat und wie sich die Produktion stabilisieren lässt, wenn eine kritische Maschine ausfällt. Das ist eine andere Aufgabe als bei Konsumenten-KI. Sie erfordert Geometrie, Systemverständnis, Prozesslogik und die Fähigkeit, Informationen über verschiedene Umgebungen hinweg miteinander zu verknüpfen.

Genau hier wird die Rolle von Autodesk besonders relevant. Die Branchen, die der

Softwareanbieter adressiert, haben keinen Datenmangel. Die Herausforderung besteht darin, diese Daten so miteinander zu verbinden, dass ein sinnvoller Datenkontext entsteht, aus dem KI konkrete Handlungsmöglichkeiten ableiten kann. KI ersetzt diese Systeme nicht, sie ist auf diese angewiesen.

Für die Automobilindustrie ist dieser Kontext besonders wichtig, weil der Anpassungsdruck hoch ist. Neue Antriebskonzepte, Batterieproduktion, veränderte Lieferketten und kürzere Produktzyklen erfordern deutlich flexiblere Werke. In diesem Umfeld reicht reaktive Optimierung nicht mehr aus. Prädictive Optimierung ist ein Fortschritt, aber noch nicht die ganze Antwort. Die größere Chance liegt darin, einen vernetzten operativen Kontext zu schaffen, in dem Simulation, Monitoring, Produktionsdaten und Instandhaltungswissen kontinuierlich zusammenspielen. Erst dann kann ein Werk nicht nur auf Ereignisse reagieren, sondern aus ihnen lernen.

### Eine intelligente Betriebsphase ermöglichen

Deshalb investiert Autodesk stärker in die Betriebsphase. Mit der neu geschaffenen Geschäftseinheit Autodesk Operations Solutions bündelt der Anbieter Lösungen wie Tandem, FlexSim, Fusion Operations und Factory Design Utilities und schafft so eine klarere strategische Ausrichtung. Dabei geht es nicht darum, eine weitere isolierte Softwareebene zu schaffen. Es geht darum, Kun-

den dabei zu unterstützen, ihre Anlagen mit intelligenten Lösungen zu betreiben und zu optimieren.

Ein gutes Beispiel dafür liefert Viessmann Climate Solutions. Mit einem integrierten Fabrikmodell konnte das Unternehmen Fehlerkosten um bis zu 50 Prozent senken. Dieses Ergebnis ist nicht nur deshalb relevant, weil

### WER EINE FABRIK NUR ALS PRODUKTIONSANLAGE BETRACHTET, GREIFT BEI DER OPTIMIERUNG ZU KURZ.

es messbar ist. Es zeigt auch einen Grundsatz für die deutsche Industrie: Der Wert einer digitalen Fabrik entsteht nicht allein durch ein 3D-Modell. Er entsteht durch eine Entscheidungsumgebung, in der Kontext über den gesamten Lebenszyklus hinweg geschaffen, geteilt und genutzt wird.

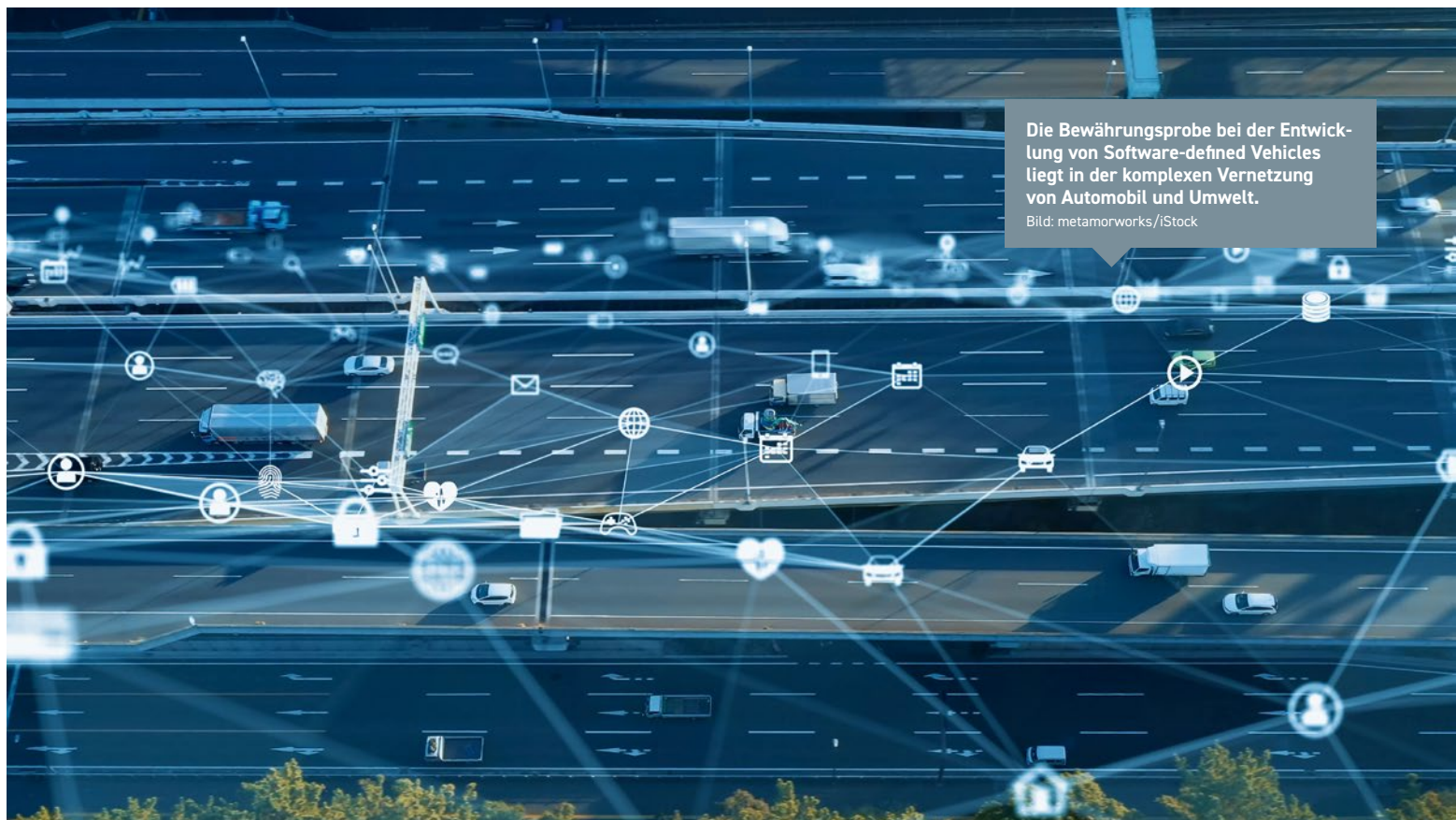
Das ist die nächste Entwicklungsstufe der digitalen Fabrik. Es geht nicht nur darum, Betriebsabläufe intelligenter zu visualisieren. Es geht darum, die Fabrik verständlicher, einfacher steuerbar und anpassungsfähiger zu machen – indem wir das Wissen aus dem Betrieb mit den Entscheidungen verbinden, die Design, Planung und künftigen Anlagenbau verbessern. In der Automobilfertigung, in der die Komplexität steigt und Margen unter Druck geraten, ist dieser Ansatz keine Zukunftsvision mehr. Er wird zur Voraussetzung für Wettbewerbsfähigkeit. « RT

Robert Bray ist Vice President Autodesk Tandem.

Anlagenpläne, Telemetriedaten, Wartungsdaten, Anlagendaten und Prozessinformationen schaffen einen höheren Mehrwert, wenn sie in einer kontextbezogenen Entscheidungs-umgebung miteinander verknüpft werden.

Bilder: Autodesk





Die Bewährungsprobe bei der Entwicklung von Software-defined Vehicles liegt in der komplexen Vernetzung von Automobil und Umwelt.

Bild: metamorworks/iStock

# DIE ZWEITE HALBZEIT DES SOFTWARE DEFINED VEHICLE

Die Automobilindustrie hat die erste Etappe auf dem Weg zum Software Defined Vehicle (SDV) gemeistert: Software ins Fahrzeug zu integrieren. Doch die eigentliche Bewährungsprobe beginnt jetzt erst mit der nahtlosen Vernetzung von Fahrzeug, Smartphone, Ladeinfrastruktur und digitalen Diensten zu einer kohärenten Nutzererfahrung. Um diese Komplexität beherrschbar zu machen, gewinnen virtuelle Zwillinge als zentrales Entwicklungswerkzeug zunehmend an Bedeutung.

» VON DR.-ING. BASSEM HASSAN

**L**ange galt die Softwareintegration im Fahrzeug als die zentrale Zukunftsherausforderung der Automobilindustrie. Die Branche hat diese Herausforderung angenommen und beachtliche Fortschritte erzielt. Doch künftig geht es vor allem darum, eine nahtlose, kontextbewusste Nutzererfahrung über ein riesiges Ökosystem aus Geräten, Diensten und digitalen Plattformen hinweg zu ermöglichen – die sogenannte Experience Orchestration.

Das bedeutet konkret: Ein modernes Elektrofahrzeug ist längst nicht mehr nur ein Fahrzeug. Es ist ein mobiler Knotenpunkt in einem Netzwerk aus Smartphone-Apps,

## — DIE SYSTEMÜBERGREIFENDE KOMPLEXITÄT STELLT KLASSISCHE ENTWICKLUNGSANSÄTZE VOR NEUE HERAUSFORDERUNGEN. —

Ladestationen, Parkdienstleistern, Streaming-Plattformen, Navigationsdiensten und Fahrzeugdaten-Backends. Mit Vehicle-to-Grid geht die Vernetzung noch einen Schritt weiter. Das Fahrzeug wird Teil des Stromnetzes. Es speichert Energie und speist sie bei Bedarf zurück. Damit übernimmt es eine aktive Rolle in einem weiteren System of Systems: der Energieinfrastruktur. Der Fahrer erwartet,

dass all diese Systeme reibungslos ineinandergreifen, so selbstverständlich wie das Aufrufen einer App auf dem Smartphone. Mit diesem Wandel erweitert sich auch die Rolle des virtuellen Zwillings. Er wird vom Modell eines einzelnen Produkts zum gemeinsamen Entwicklungsmodell für umfassende digitale Ökosysteme.

### Experience Orchestration in der Praxis

Der Ladevorgang eines Elektrofahrzeugs macht die Komplexität besonders sichtbar. Was für den Nutzer wie ein einfacher Vorgang wirkt, erfordert im Hintergrund die nahtlose Koordination zahlreicher Systeme: von der Erkennung der Ladestation über die

Authentifizierung und Abrechnung bis hin zur intelligenten Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladeinfrastruktur. Entscheidend ist dabei nicht die Leistungsfähigkeit einzelner Komponenten, sondern das Zusammenspiel aller beteiligten Systeme. Jede Funktion kann für sich genommen zuverlässig arbeiten, und dennoch kann das Gesamterlebnis für den Kunden enttäuschend bleiben, wenn Schnittstellen, Datenflüsse oder Prozesse nicht optimal ineinandergreifen.

### Interaktionen über Plattformen, Partner und Geschäftsmodelle hinweg

Genau diese systemübergreifende Komplexität stellt klassische Entwicklungsansätze vor neue Herausforderungen. Die relevanten Interaktionen entstehen heute nicht mehr innerhalb eines einzelnen Unternehmens oder einer einzelnen Systemgrenze, sondern über verschiedene Plattformen, Partner und Geschäftsmodelle hinweg. Das Systems Engineering beschreibt diese Konstellation als System of Systems: Fahrzeug, Ladeinfrastruktur, Backend und Apps sind eigenständige Systeme. Jedes wird unabhängig entwickelt, betrieben und aktualisiert. Der Nutzen für den Kunden entsteht erst aus ihrem Zusammenspiel. Um diese Zusammenhänge frühzeitig sichtbar zu machen, braucht es ein gemeinsames digitales Modell der gesamten Nutzererfahrung.

Ein System of Systems lässt sich nicht wie ein einzelnes Produkt spezifizieren. Kein Beteiligter kontrolliert alle Teile. Anforderungen, Schnittstellen und Verhalten müssen deshalb modellbasiert beschrieben werden. Model-Based Systems Engineering (MBSE) liefert

dafür das Fundament: eine durchgängige logische Architektur, an der sich alle Partner ausrichten. Der virtuelle Zwilling macht diese Architektur erlebbar und prüfbar, lange bevor reale Systeme integriert werden.

Virtuelle Zwillinge verbinden technische Systeme, digitale Services und Nutzerinteraktionen in einer gemeinsamen Umgebung, in der sich Funktionen und Abläufe bereits vor der Umsetzung simulieren, bewerten und optimieren lassen.

### Neue Dimension der Fahrzeugvalidierung

Virtuelle Zwillinge bieten eine neue Form der vorausschauenden Validierung: Nicht nur einzelne Komponenten, sondern komplette vernetzte Nutzererlebnisse als Wirkkette, die bereits in frühen Entwicklungsphasen modelliert und bewertet werden können. Teams aus verschiedenen Disziplinen oder Unternehmen erhalten dadurch eine gemeinsame Grundlage, um Human-Machine-Interface-Architektur (HMI), Fahrzeugfunktionen, digitale Dienste und Customer Journey aufeinander abzustimmen. Ziel ist nicht die Validierung einzelner Funktionen, sondern die Simulation vollständiger Nutzungsszenarien, vom Öffnen des Fahrzeugs über Navigation und Laden bis zur Interaktion mit digitalen Diensten.

Ansätze wie Virtual Twins of Connected Experiences von Dassault Systèmes zeigen, wie sich diese Methodik in der Praxis umsetzen lässt. In einer gemeinsamen digitalen

Umgebung können Interaktionen zwischen Fahrzeug, Nutzer und externen Diensten simuliert und potenzielle Probleme erkannt werden, bevor sie in späteren Integrationsphasen oder beim Kunden sichtbar werden. Mit seinen KI-gestützten Virtual Companions und den 3D UNIV+RSES geht Dassault Systèmes den nächsten Schritt.

## VIRTUELLE ZWILLINGE VERBINDEN TECHNISCHE SYSTEME, DIGITALE SERVICES UND NUTZER- INTERAKTIONEN IN EINER GEMEIN- SAMEN UMGEBUNG.

Die agentische 3DExperience-Plattform orchestriert Entwicklungsprozesse über Disziplinen und Unternehmen hinweg. Durch eine strategische Partnerschaft mit Nvidia werden virtuelle Zwillinge mit industriellen Weltmodellen und beschleunigtem Computing verbunden. Auf dieser Basis lassen sich komplette System-of-Systems-Szenarien in realistischem Maßstab simulieren.

Dadurch kann man Entwicklungsrisiken reduzieren, Anforderungen früher validieren und notwendige Anpassungen deutlich effizienter umsetzen. Gerade bei umfassenden Software-Defined-Vehicle-Architekturen hilft der virtuelle Zwilling, die wachsende Zahl an Abhängigkeiten zwischen Systemen und Partnern beherrschbar zu machen.

### Die nächste Entwicklungsstufe des Software-Defined Vehicle

Heute reicht es nicht mehr aus, ein technisch perfektes Fahrzeug zu fertigen. Der Qualitätsanspruch erstreckt sich auf die gesamte vernetzte Nutzererfahrung und umfasst das Zusammenspiel von Fahrzeug, digitalen Diensten und externen Ökosystemen.

Virtuelle Zwillinge und kollaborative Simulationsumgebungen schaffen dafür die notwendige Grundlage. So können Abhängigkeiten im System of Systems über Unternehmens- und Plattformgrenzen hinweg sichtbar gemacht, Entwicklungsentscheidungen abgesichert und potenzielle Probleme bereits vor der Umsetzung erkannt werden.

Hersteller, die diese neue Form der Entwicklung frühzeitig etablieren, schaffen nicht nur bessere digitale Nutzererlebnisse, sondern entwickeln auch effizienter und reagieren schneller auf Marktveränderungen. « RT

**Dr.-Ing. Bassem Hassan** ist Senior Director Eurocentral bei Dassault Systèmes.

Jetzt geht es um die nahtlose Vernetzung von Fahrzeug, Smartphone, Ladeinfrastruktur und digitalen Diensten zu einer kohärenten Nutzererfahrung.

Bild: Gorodenkoff/iStock



# KI SETZT NEUE MASSSTÄBE FÜR WORKSTATIONS

KI-gestützte Funktionen verändern Engineering-Workflows grundlegend. Die GPU wandelt sich vom reinen Darstellungsbaustein zum zentralen Beschleuniger für Konstruktion, Simulation und Visualisierung. Wer Workstations nur nach minimalen Software-Anforderungen dimensioniert, riskiert Engpässe im Betrieb. ➤ **VON FRANK SCHEUFENS**



Für professionelle Workstations zählt, ob eine Grafiklösung den geplanten Workflow über Jahre hinweg stabil, interaktiv und KI-fähig ermöglicht.

Bild: © Phaminn/stock.adobe.com

**W**ährend Softwarehersteller ihre Anwendungen um KI-gestützte Assistenzfunktionen, Analysewerkzeuge und beschleunigte Visualisierungspfade erweitern, wirken offizielle Systemanforderungen oft erstaunlich moderat. Eine aktuelle Grafikschnittstelle, wenige Gigabyte Videospeicher und ein zeitgemäßer Prozessor genügen laut Datenblatt meist für den Programmstart. Für die Beschaffung professioneller Workstations greift diese Sicht zu kurz: KI macht sichtbar, dass zwischen technischer Lauffähigkeit und produktiver Eignung eine große Lücke klafft.

Mindestanforderungen beschreiben lediglich den kleinsten gemeinsamen Nenner. Sie garantieren weder flüssig dargestellte große Baugruppen noch interaktiv auswertbare Simulationsergebnisse

## DIE GPU WIRD ZUM ZENTRALEN BESCHLEUNIGER IM GESAMTSYSTEM.

se oder verzögerungsfreie Viewports. Auch ob KI-Zusatzfunktionen parallel stabil laufen oder mehrere Anwendungen gleichzeitig flüssig bleiben, bleibt offen. Genau diese Faktoren bestimmen jedoch die Produktivität im Engineering-Alltag.

### Vom Grafikbaustein zum KI-Beschleuniger

In klassischen CAD-Umgebungen war die Grafikkarte primär für Geometriedarstellungen zuständig. Moderne Workflows erzeugen dagegen parallele Lasten auf CPU, GPU, RAM und Massenspeicher. Große parametrische Baugruppen, BIM-Modelle, CAM-Daten, Echtzeitrendering und KI-Assistenten fordern ein Umdenken. Die GPU wird zum zentralen Beschleuniger im Gesamtsystem – nicht nur für die

Anzeige, sondern für rechennahe Funktionen, die Konstrukteure schneller zu fundierten Entscheidungen führen.

Kritischer Faktor ist der Videospeicher (VRAM). Solange Geometrie-, Textur-, Analyse- und Render-Daten vollständig im Grafikspeicher liegen, arbeitet die GPU mit hoher Bandbreite und niedriger Latenz. Wird der VRAM-Speicher knapp, müssen Daten über langsamere Pfade ausgelagert werden. Das führt selten sofort zum Absturz, verursacht aber spürbare Verzögerungen und ruckelnde Ansichten. Für Konstrukteure bedeutet das: weniger Interaktivität, weniger Variantenprüfung und längere Iterationszyklen – das Gegenteil dessen, was KI-gestützte Werkzeuge bezwecken sollen.

### Zertifizierung schlägt Consumer-Rohleistung

Ein Blick auf Anwendungen wie Autodesk Fusion, Inventor, Solidworks, Siemens NX, PTC Creo oder Ansys zeigt: Die Mindestanfor-

### KI und Simulation verändern den Erwartungshorizont

KI verändert die Erwartungen an moderne Engineering-Software. Automatisierte Geometriekennung, KI-basiertes Denoising beim Rendern, Simulationsergänzungen oder interaktive Analysefunktionen verschieben Aufgaben auf spezialisierte Recheneinheiten der GPU. Ob diese Prozesse lokal, hybrid oder Cloud gestützt laufen, hängt von der Anwendung ab. Fest steht: Diese Funktionen steigern den Bedarf an moderner GPU-Architektur, ausreichend VRAM und hoher Speicherbandbreite.

Für Konstrukteure ist die Schnittstelle sekundär. Entscheidend ist, ob der Arbeitsplatz genügend Reserven besitzt, um parallele Arbeitslasten gleichzeitig zu tragen: CAD-Modellierung, Simulation im Hintergrund, gerenderte Vorschau sowie PDM/PLM-Anbindung. Eine Workstation, die nur das Datenblatt-Minimum erfüllt, stößt in diesem Gesamtworkflow schnell an Grenzen.

### Dimensionierung nach dem realen Praxisworkflow

Eine nachhaltige Workstation-Beschaffung orientiert sich nicht an der niedrigsten Angabe im Datenblatt, sondern am konkreten Workflow. Relevante Fragen sind: Welche Software wird genutzt? Wie groß sind die Baugruppen? Werden Simulationen lokal ausgewertet? Welche KI-Funktionen sollen produktiv laufen?

Als Orientierung gilt: acht Gigabyte VRAM reichen heute nur noch für einfache 3D-Aufgaben oder kleinere CAD-Projekte. Für professionelle Konstrukteure bilden 12 bis 16 Gigabyte die realistische Untergrenze. 24 Gigabyte und mehr werden dort erforderlich, wo große Baugruppen, BIM-Modelle, GPU-Rendern, Simulationsvisualisierung und datenintensive KI-Prozesse parallel zusammenkommen. High-End-Szenarien mit sehr großen Visualisierungen oder komplexen lokalen KI-Berechnungen erfordern noch größere VRAM-Bestückungen.

Grafiklösungen sollten daher nie isoliert als Komponente betrachtet werden. Sie müssen als integraler Teil des Engineering-Arbeitsplatzes zur Software, Projektgröße, Lebensdauer der Hardware und zum Supportmodell passen. Eine Unterdimensionierung beeinträchtigt direkt die Innovationsgeschwindigkeit und Stabilität eines Entwicklungsteams.

### Fazit: KI verändert die Hardware-Evaluation

Für professionelle Workstations zählt, ob eine Grafiklösung den geplanten Workflow über Jahre hinweg stabil, interaktiv und KI-fähig trägt. Mindestanforderungen markieren nur die technische Untergrenze. Maßgeblich für die Beschaffung sind empfohlene Konfigurationen, zertifizierte Hardwarelisten und die Anforderungen des realen Engineering-Alltags.

Grafiklösungen entscheiden heute darüber, ob digitale Modelle nur geöffnet oder flüssig bearbeitet werden, ob Simulationsergebnisse sofort bereitstehen und ob KI-gestützte Assistenzfunktionen den Alltag tatsächlich beschleunigen. KI ersetzt nicht die klassische Konstruktion, erhöht aber den Anspruch an Reaktionszeit, Parallelität und Systemreserven. Wer Workstations konsequent nach realen Engineering-Workflows dimensioniert, schafft die Basis für kürzere Iterationszyklen und produktivere Konstruktionsteams. **« RT**

**Frank Scheufens** ist Produktmanager Professional Visualization bei PNY Technologies.

**ENTSCHEIDEND IST, OB DER ARBEITSPLATZ GENÜGENDE RESERVEN BESITZT, UM PARALLELE ARBEITSLASTEN GLEICHZEITIG ZU TRAGEN.**



derungen liegen weit unter den Konfigurationen, die Hersteller für komplexe Projekte empfehlen. Für einfache Bauteile genügt eine Einstiegsausstattung. Produktive Workflows mit großen Baugruppen, Simulationen und parallel geöffneten Applikationen benötigen deutlich mehr Grafikleistung und Speicherkapazität.

Zudem spielt die ISV-Zertifizierung eine zentrale Rolle. Professionelle Anwendungen setzen auf getestete Grafikkarten und Treiber-versionen, damit komplexe Darstellungsfunktionen, Transparenzen und Simulationsvisualisierungen reproduzierbar funktionieren und im Supportfall nachvollziehbar bleiben. Consumer-Grafikkarten liefern in Benchmarks oft hohe Rohleistung, im industriellen Umfeld zählen jedoch Treiberstabilität, Langzeitverfügbarkeit, große VRAM-Optionen, optionaler ECC-Fehlerschutz und verlässlicher Support über den Projektlebenszyklus. Genau hier liegen die Stärken professioneller Plattformen wie Nvidia RTX PRO.

# DIGITALE KONSTRUKTION ERLERNEN

Ein echter Gamechanger in der Ausbildung sind 3D-Eingabegeräte wie die SpaceMouse, die sechs Freiheitsgrade intuitiv erlebbar machen. Sie funktionieren nachweislich auch bei CAD-Einsteigern. Die Aufgabe liegt nun darin, diese so zugänglich zu machen, dass sie nicht die Ausnahme in einzelnen Bildungseinrichtungen bleiben, sondern selbstverständlicher Teil jeder Bildungseinrichtung und Ausbildungswerkstatt werden – bezahlbar und eingebettet in fertige didaktische Konzepte.

» VON ALEXANDRA EICHNER



Präzise 3D-Navigation mit der Space-Mouse Wireless von 3Dconnexion.

Bild: 3Dconnexion

**W**er heute eine technische Ausbildung absolviert, lernt Konstruieren mit einer hochkomplexen Software an einer leistungsstarken Workstation und verwendet dafür zwei einfache Werkzeuge: Maus und Tastatur. Beide wurden jedoch nie für das entwickelt, was sie in der CAD-Ausbildung leisten müssen: dreidimensionale Bauteile im Raum zu drehen, zu verschieben und zu prüfen. Eine normale Maus kennt zwei Achsen, ein Bauteil benötigt jedoch sechs Freiheitsgrade. Diese Lücke ist eine der unterschätzten Herausforderungen der technischen Ausbildung und trifft auf eine Branche, die ohnehin unter Fachkräftemangel leidet und in kürzerer Zeit mehr digitale Kompetenz vermitteln muss als noch vor zehn Jahren.

Für diesen Artikel hat die Autorin mit Nicolai Stern gesprochen, Gründer von Stern Didactic und Autodesk Authorized Academic Partner. Er schult Auszubildende und Lehrkräfte im Umgang mit Autodesk Fusion, unter anderem im Projekt „Design & Make“: Teilnehmende des Workshops konstruieren dabei einen Mecanum Rover, drucken ihn in 3D, verlöten die Elektronik und programmieren die Steuerung – in fünf Tagen, ganz ohne Vorwissen.

## Was ein echtes 3D-Eingabegerät leistet

Eingabegeräte wie die 3Dconnexion SpaceMouse erlauben es, ein Modell mit nur einer Hand gleichzeitig zu drehen, zu verschieben und zu zoomen, während die andere Hand an der Maus oder der Tastatur bleibt. Das spiegelt reale Werkzeugnutzung wider, als würde man

ein physisches Bauteil halten und gleichzeitig bearbeiten. Nicolai Stern beschreibt den Effekt so: „Mit einer normalen Maus pausiert man ständig, um umzugreifen. Mit der SpaceMouse in der einen Hand navigiert man flüssig und modelliert gleichzeitig weiter.“ Sein Bild dafür: Man solle sich vorstellen, das Bauteil in den Händen zu halten und zurechtzudrehen. „Genau so fühlt es sich an.“

## Was Azubis heute ausbremst

In der Praxis kämpfen Auszubildende laut Stern vor allem mit der Navigation im 3D-Raum: zoomen, drehen, die richtige Ansicht finden. Verlorene Zeit, die eigentlich ins Konstruieren fließen sollte. Betriebe berichten ihm zufolge, dass Azubis die Software zwar schnell bedienen können, beim

methodischen Konstruieren wie Bemaßung, Toleranzen, fertigungsgerechtes Denken aber Lücken aufweisen. Ein vermeintliches „CAD-Talent“ hält er dabei für überwiegend trainierbar: „Entscheidend sei nicht schnelle Fingerfertigkeit, sondern die Bereitschaft, ein Teil dreimal zu überarbeiten, bis es passt.“

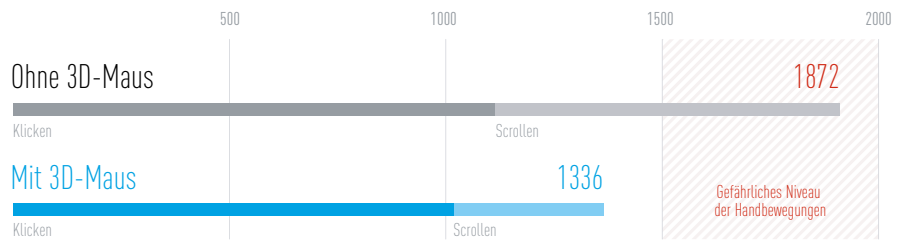
Der Standard in der Ausbildung sind bislang Maus und Tastatur. Eine 3D-Maus hat kaum jemand vor der Schulung in der Hand gehabt. Ändert sich das, sei der Effekt deutlich spürbar: Bei Baugruppen, Explosionsansichten und Freiformflächen entstehen nach Sterns Beobachtung typische Aha-Momente, sobald das Bauteil frei gedreht statt über Ansichtsbefehle angeklickt wird.

### Ergonomie als blinder Fleck

Ein Thema, das meist erst im höheren Alter miteinbezogen wird, sind Ergonomie und Arbeitsplatzgesundheit. Die einseitige Handhaltung während dem Konstruieren an der Maus über Stunden hinweg gilt als Risikofaktor für Verspannungen in Nacken, Schulter und Handgelenk. Beschwerden, die bereits in der Ausbildung auftreten können. „Ergonomie wird in der Ausbildung deutlich unterschätzt“, sagt Stern. In der Praxis gehe es fast immer um Software, Lizenzen und Inhalte, der Arbeitsplatz selbst bleibe ein blinder Fleck. Übernimmt eine Hand die Navigation über die SpaceMouse, verteilt sich die Last spürbar gleichmäßiger und die Zahl der Mausclicks sinkt. Als festen Standard in der Konstruktionsausbildung – spätestens sobald es an Baugruppen geht – hält er ergonomische Eingabegeräte für sinnvoll.

### Räumliches Denken trainieren

Konstruktionsberufe verlangen ein intuitives Gefühl dafür, wie Bauteile im Raum zueinanderstehen: Passt dieses Teil in jene Aus-



#### Vergleich der Fingerbewegungen pro Stunde mit und ohne 3D-Maus.

Quelle: Ergonomische Bewertung der 3D-Maus – Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO); Grafik: 3Dconnexion

sparung, kollidiert eine Schraube mit einem anderen Bauteil? Dieses Gefühl entwickelt sich durch aktives, wiederholtes Erkunden schneller als durch das Klicken durch feste Standardansichten. Am Chassis des Mecanum Rover zeigt sich das besonders deutlich: Passt ein gedrucktes Teil nicht, merkt man das nicht am Bildschirm, sondern erst beim Zusammenbauen in der Hand – eine direkte Rückkopplung, die reines CAD-Arbeiten am Bildschirm nicht bietet. Stern beschreibt den typischen Lernfortschritt so: „Sobald die Navigation flüssig wird, klickt es plötzlich und aus Einzelteilen wird ein greifbares Ganzes.“

### Studie belegt Annahmen

Sterns Beobachtung lässt sich durch Zahlen bestätigen. Eine Studie des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) belegt, dass die beidhändige Arbeitsweise mit einer SpaceMouse die Hand- und Fingerbewegungen um 28,6 Prozent senkt und damit aus dem als kritisch geltenden Bereich oberhalb von 1.800 Bewegungen pro Stunde herausführt. Zugleich verkürzt

sie die Bearbeitungszeit je nach Aufgabe um bis zu 28 Prozent\*.

In Softwareanwendungen wie Autodesk Fusion hilft die SpaceMouse dabei ein 2D-Teil dank der absolut flüssigen und präzisen Navigation in 3D millimetergenau zu erkunden und zu verstehen. Über die Softwareintegration lassen sich zudem Befehle für sämtliche Umgebungen wie Sketch, Bauteil, Baugruppe auf den programmierbaren Tasten hinterlegen, was die Umgriffe von der SpaceMouse hin zur Tastatur nochmal reduziert. Gerade

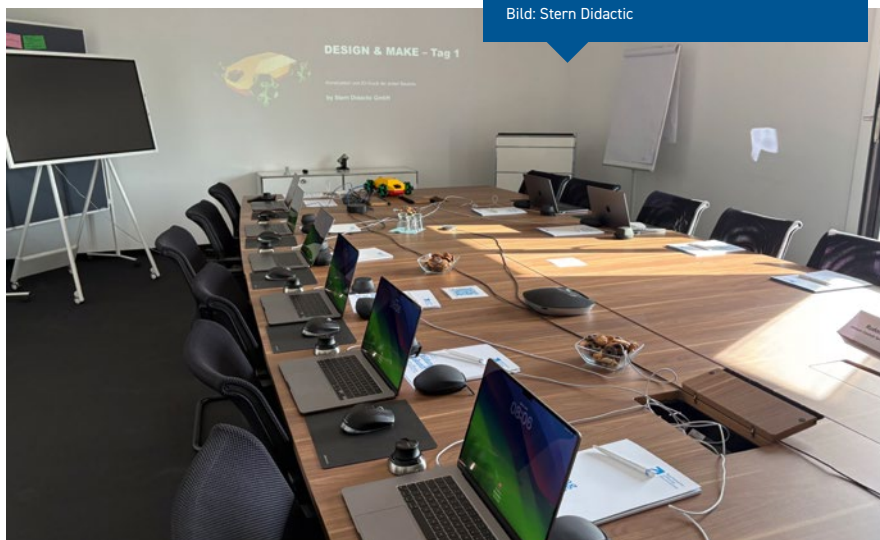
**» EINGABEGERÄTE WIE DIE SPACEMOUSE ERLAUBEN ES, EIN MODELL MIT NUR EINER HAND GLEICHZEITIG ZU DREHEN, ZU VERSCHIEBEN UND ZU ZOOMEN, WÄHREND DIE ANDERE HAND AN DER MAUS ODER DER TASTATUR BLEIBT.«**

weil 3D-Software immer stärker gamifiziert wird, macht das räumliche Konstruieren mit dem 3D-Eingabegerät noch einmal deutlich mehr Spaß – ein schöner Nebeneffekt, der besonders in der Ausbildung motiviert.

Fazit: Ein echter Gamechanger in der Ausbildung sind 3D-Eingabegeräte wie die SpaceMouse, die sechs Freiheitsgrade intuitiv erlebbar machen. Sie funktionieren nachweislich auch bei CAD-Einsteigern. Die Aufgabe liegt darin, diese so zugänglich zu machen, dass sie nicht die Ausnahme in einzelnen Bildungseinrichtungen bleiben, sondern selbstverständlicher Teil jeder Bildungseinrichtung und Ausbildungswerkstatt werden – bezahlbar, robust im Klassenbetrieb und eingebettet in fertige didaktische Konzepte, wie sie Stern Didactic mit Design & Make bereits vormacht. **« RT**

\* Quelle: Ergonomische Bewertung der 3D-Maus – Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO).

Alexandra Eichner ist Marketing Manager bei 3Dconnexion.



Trainingsplätze für den „Design & Make“-Workshop bei Stern Didactic.  
Bild: Stern Didactic

# METYS: EINSTIEG IN DIE VERNETZTE PRODUKTION

Das Industrial Metaverse verknüpft Daten, Modelle und Prozesse in Entwicklung und Produktion durchgehend miteinander. So werden Entscheidungen auf eine breitere Informationsbasis gestellt und es entstehen neue Möglichkeiten für Simulation, Zusammenarbeit und KI. Mit der Bereitstellung der Plattform Metys über eine Sovereign-Cloud-Infrastruktur von T-Systems vereinfacht EDAG den Einstieg in Industrial-Metaverse-Anwendungen. » VON JAN BERNER

In der Praxis zeigt sich schnell, dass die meisten Unternehmen nicht unter einem Mangel an Daten leiden. Informationen zu Produkten, Prozessen und Projekten sind in CAD-, PLM- oder MES-Systemen längst vorhanden. Die Herausforderung besteht vielmehr darin, diese Informationen über Systemgrenzen hinweg zusammenzuführen.

Die verteilte Datenlandschaft führt in Entwicklung, Produktion, Logistik und Projektmanagement häufig zu zusätzlichem Abstimmungsaufwand und einer eingeschränkten Sicht auf Zusammenhänge. Gleichzeitig steigt die Komplexität, wenn Informationen aus unterschiedlichen Systemen für Simulationen, digitale Zwillinge oder KI-Anwendungen nutzbar gemacht werden sollen. Mit Metys stellt EDAG eine Integrations- und

Kollaborationsplattform für das Industrial Metaverse bereit, die Daten, Modelle und Prozesse in einem gemeinsamen digitalen Arbeitsraum zusammenführt.

## Systemübergreifende Transparenz durch vernetzte Daten

Die Plattform verbindet Informationen aus unterschiedlichen Systemen. CAD-, PLM- und Projektmanagement-IoT-Lösungen werden miteinander verknüpft. Entwicklungsdaten, 3D-Modelle, Projektinformationen, Simulationen und Kennzahlen laufen in einem gemeinsamen digitalen Arbeitsraum zusammen. Dadurch entsteht ein durchgängiges Bild industrieller Projekte, in dem Abhängigkeiten und Wechselwirkungen nachvollziehbar werden. Beteiligte Teams sehen nicht nur ihren eigenen Arbeitsstand,

sondern auch die Auswirkungen auf andere Bereiche.

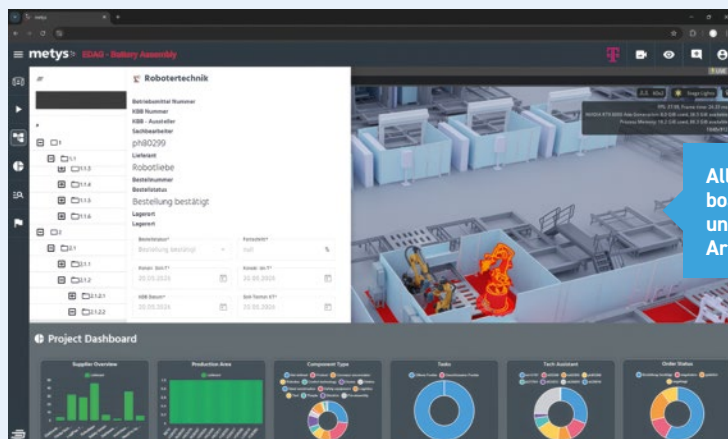
Projektverantwortliche erkennen beispielsweise, welche Folgen ein geänderter Meilenstein für Layout, Produktion oder Logistik hat. Fachbereiche können Entscheidungen auf einer gemeinsamen Informationsbasis treffen, statt Informationen aus verschiedenen Quellen aufwendig zusammenzuführen. Abhängigkeiten werden früher erkennbar, Entscheidungen nachvollziehbarer und komplexe Projekte besser steuerbar.

## Cloud macht den Einstieg einfacher

Lange Zeit war die Einführung von Industrial-Metaverse-Plattformen mit erheblichem Integrations- und Infrastrukturaufwand verbunden. Industrieunternehmen standen damit schnell vor der Frage, wie sich entsprechende

Die Verknüpfung von realer Produktion und digitalen Modellen schafft eine neue, durchgängige Basis für Entscheidungen im gesamten Team.

Bild: © Gorodenkoff/stock.adobe.com



Alles auf einen Blick: Das Metys-Dashboard führt 3D-Modelle, Projektstatus und Echtzeit-KPIs in einem digitalen Arbeitsraum zusammen. Bild: EDAG Group

Anwendungen wirtschaftlich und organisatorisch sinnvoll aufsetzen lassen.

Mit der Bereitstellung von Metys über eine Sovereign-Cloud-Infrastruktur von T-Systems zum Ende des dritten Quartals wird dieser Einstieg deutlich einfacher. Unternehmen erhalten damit einen standardisierten Zugang zu den benötigten Funktionen, ohne eine eigene Plattform- und Betriebsinfrastruktur aufbauen zu müssen. Das reduziert den Aufwand und erleichtert es, Industrial-Metaverse-Anwendungen zunächst in einzelnen Projekten zu erproben und anschließend schrittweise auszuweiten.

### Vom 3D-Layout zum digitalen Projekt-raum: Metys in der Praxis

Zu den heute verfügbaren Anwendungsfeldern von Metys zählt das Projektmanagement industrieller Vorhaben. Dabei werden Projektstrukturen, Arbeitspakete und Meilensteine mit 3D-Layouts, Anlageninformationen und relevanten Kennzahlen verknüpft. Fortschritte, Abhängigkeiten und Änderungen lassen sich nicht nur tabellarisch, sondern im räumlichen Kontext einer Produktionsumgebung darstellen. KPIs aus unterschiedlichen Systemen können mit Layouts und Projektständen verbunden werden. Ein integrierter AI-Assistent unterstützt dabei, Informationen aus Projektdaten und Dokumenten schneller zugänglich zu machen. Geplante Veränderungen lassen sich visualisieren, bevor sie real umgesetzt werden.

Wie das konkret aussieht, zeigt der Logistikkumbau im Mercedes-Benz-Werk in Tuscaloosa. Dort werden Projektinformationen, Layoutdaten und Umsetzungsstände in einem gemeinsamen Arbeitsraum zusammengeführt. So entsteht eine konsistente Sicht auf den Projektfortschritt und die Auswirkungen geplanter Änderungen. Entscheidungen lassen sich dadurch fundierter treffen und Abstimmungsaufwände reduzieren. EDAG setzt Metys in allen größeren Projekten der Produktionsplanung und Produktionsrea-

Industrial Metaverse in der Praxis: Über die Cloud-Infrastruktur erhalten Unternehmen schnellen Zugang zu digitalen Zwillingen und vernetzten Prozessdaten. Bild: © Gorodenkoff/stock.adobe.com (bearbeitet mit KI)

lisierung ein und entwickelt die Plattform kontinuierlich entlang der Anforderungen aus der industriellen Praxis weiter.

### Weitere Anwendungsfelder im Industrial Metaverse

Der Einsatz im Projektmanagement zeigt beispielhaft, wie sich Informationen aus unterschiedlichen Quellen in einem gemeinsamen Arbeitsraum zusammenführen lassen. Gleichzeitig entwickelt EDAG die Plattform für weitere industrielle Einsatzszenarien weiter. Dazu gehören unter anderem Werks- und Linienanläufe, die Produktions- und Logistikplanung sowie neue Fertigungsbereiche.

Mit jedem zusätzlichen Anwendungsfall wächst so der gemeinsame Daten- und Informationsraum. Damit schafft das Industrial Metaverse die Grundlage für weitere Anwendungen entlang der industriellen Wertschöpfung.

### Flexible Automatisierung für dynamische Prozesse

Mit Metys entstehen neue Möglichkeiten, industrielle Automatisierung flexibler und anpassungsfähiger zu gestalten. Besonders deutlich wird dieser Mehrwert in der Robotik. Roboter können auf unterschiedliche Szenarien vorbereitet und trainiert werden, um auch mit wechselnden Produkten, Varianten oder Produktionsbedingungen umgehen zu können.

So lassen sich Automatisierungslösungen an neue Anforderungen anpassen, ohne Abläufe für jede Änderung vollständig neu entwickeln zu müssen. EDAG erweitert da-

**DAS INDUSTRIAL METAVERSE IST WEDER EINE ISOLIERTE ZUKUNFTSVISION NOCH EIN ERSATZ FÜR BESTEHENDE SYSTEME. SEIN WERT LIEGT DARIN, VORHANDENE DATEN, MODELLE UND PROZESSE NUTZBAR MITEINANDER ZU VERBINDEN.**

mit bestehende Engineering- und Produktionsprozesse um neue Möglichkeiten der industriellen Automatisierung.

### Schritt für Schritt zur vernetzten Wertschöpfung

Das Industrial Metaverse ist weder eine isolierte Zukunftsvision noch ein Ersatz für bestehende Systeme. Sein Wert liegt darin, vorhandene Daten, Modelle und Prozesse nutzbar miteinander zu verbinden.

EDAG vereinfacht mit Metys und der Bereitstellung über die Cloud den Zugang zu Industrial-Metaverse-Anwendungen. Unternehmen können mit konkreten Anwendungsfällen starten, bestehende Systemlandschaften schrittweise einbinden und die Plattform entlang weiterer Einsatzszenarien ausbauen. So wird das Industrial Metaverse Schritt für Schritt von einer technologischen Vision zu einem Werkzeug für die industrielle Praxis.

« TB

Jan Berner ist Leiter Technik und Prozesse bei der EDAG Group.

# VISION MIT MEHRWERT

Was verbirgt sich hinter dem Industrial Metaverse, und warum beschreibt der Begriff vielerorts noch immer eher eine Vision? Der Beitrag zeigt, wie digitale Zwillinge, Extended Reality (XR) und künstliche Intelligenz künftig zu einer durchgängigen Arbeitsumgebung für das Engineering zusammenwachsen können. » VON DR. DANIEL ECKERTZ

Eine Ingenieurin steht vor einer Roboterzelle. Der Roboter ist real, seine Bewegungen und Zustände sind es ebenfalls. Doch über ein XR-System werden digitale Informationen sichtbar: Sensordaten, Simulationswerte, Bewegungsräume oder Hinweise zum Systemzustand. Was sonst in separaten Engineering-Systemen, Tabellen oder Dashboards liegt, erscheint direkt am physischen Objekt.

## Was das Industrial Metaverse meint

Dieses Szenario zeigt den Kern des Industrial Metaverse: Reale Systeme und digitale Informationen werden räumlich miteinander verbunden. Besonders faszinierend ist dabei die Vorstellung eines durchgängigen virtuellen Layers über der industriellen Welt. Digitale Daten liegen nicht mehr nur in einzelnen Anwendungen, Dateien oder Datenbanken, sondern sind dauerhaft mit realen Produkten, Anlagen, Prozessen und Umgebungen verknüpft.

Zentrale Bausteine sind digitale Zwillinge. Sie bündeln Informationen entlang des Lebenszyklus – von Anforderungen, CAD- und Systemmodellen über Simulationen und Produktionsdaten bis hin zu Betriebs-, Service- und Nutzungsinformationen. Gleichzeitig wird auch die reale Umgebung digital verfügbar, etwa durch 3D-Scans von Anlagen und Fabrikhallen oder durch digitale Modelle von Gebäuden, Verkehrswegen und Infrastrukturen.

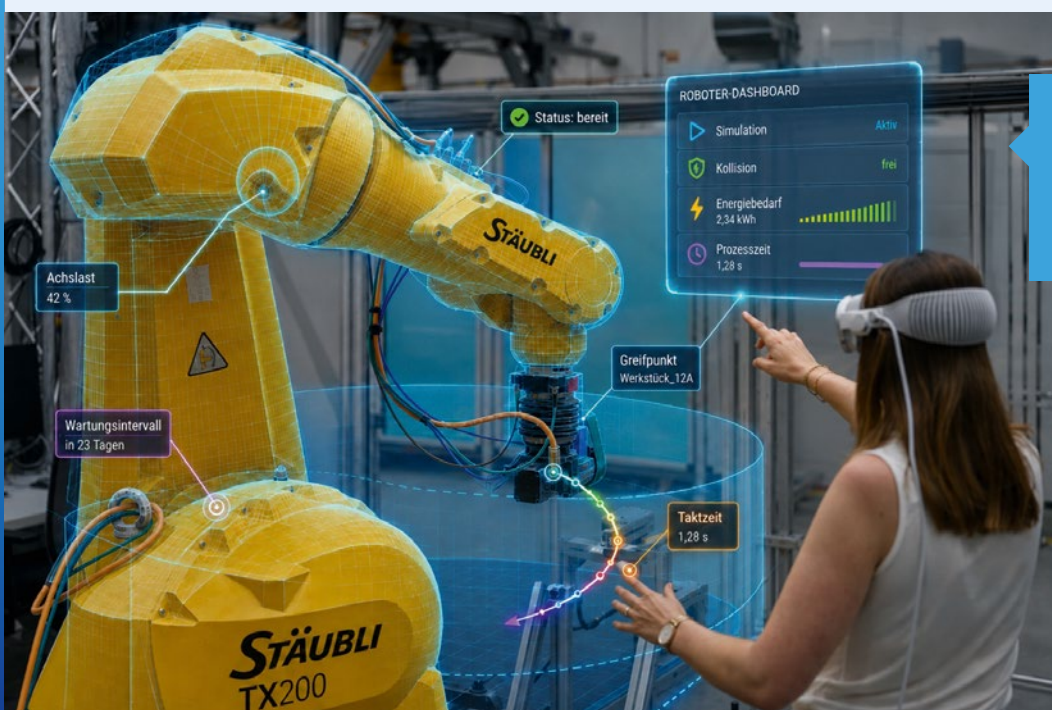
So entsteht ein gemeinsamer Kontext, in dem reale und virtuelle Welt ineinandergreifen: Digitale Daten werden am physischen Objekt sichtbar, reale Umgebungen werden zur Grundlage virtueller Simulationen. Technische Systeme lassen sich dadurch im räumlichen Zusammenhang analysieren, optimieren und kollaborativ bearbeiten.

## Extended Reality als Fenster ins Industrial Metaverse

Damit digitale Zwillinge ihren vollen Nutzen entfalten, brauchen sie eine Benutzerschnitt-

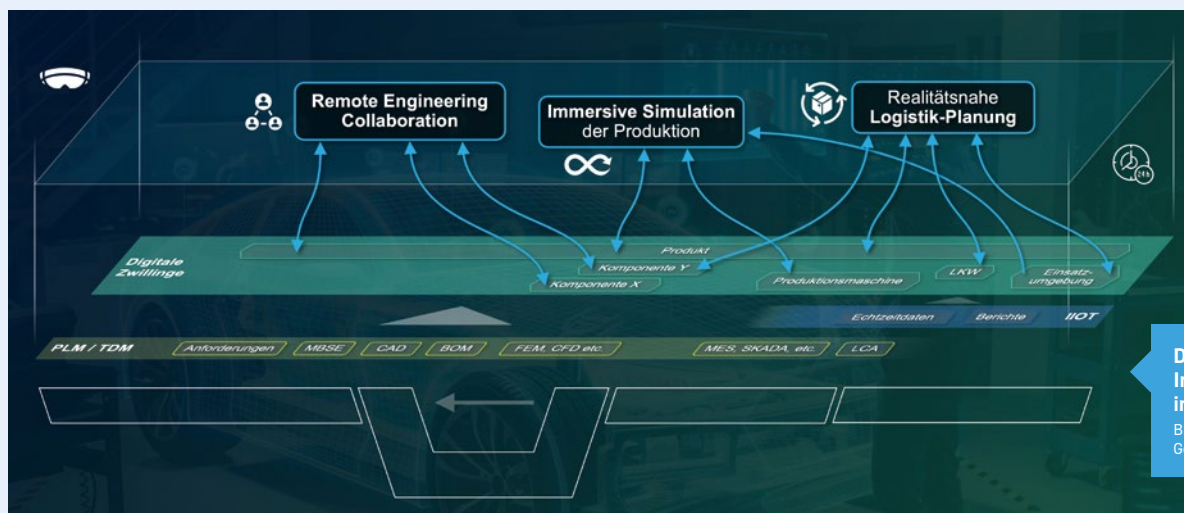
**DAS INDUSTRIAL METAVERSE BESCHREIBT EINEN DURCHGÄNGIGEN VIRTUELLEN LAYER ÜBER DER INDUSTRIELLEN WELT: DIGITALE DATEN SIND NICHT LÄNGER AUF EINZELNE ANWENDUNGEN BESCHRÄNKT, SONDERN DAUERHAFT MIT REALEN PRODUKTEN, ANLAGEN UND PROZESSEN VERKNÜPFT.**

stelle, die technische Informationen im räumlichen Kontext erfahrbar macht. Genau hier kommt Extended Reality (XR) ins Spiel. XR umfasst Virtual Reality und Augmented Reality und ermöglicht eine immersive Wahrnehmung von und Interaktion mit digitalen Daten. Größenverhältnisse, Einbausituationen, Bewegungsräume oder Abstände lassen sich in 3D intuitiver erfassen. Informationen werden nicht losgelöst vom Objekt angezeigt, sondern dort, wo sie fachlich relevant sind.



Daten aus digitalen Zwillingen, Sensorik, Simulation und Systemmodellen werden mittels XR-Technologien direkt am physischen Produkt sichtbar und interaktiv nutzbar.

Bild: Fraunhofer IEM (durch KI angereichert)



In der Virtual Reality können Produkte, Anlagen oder Prozesse vollständig räumlich erlebt werden. Augmented Reality erweitert reale Objekte um digitale Informationen. Moderne XR-Systeme führen beide Perspektiven zunehmend zusammen und ermöglichen den Wechsel zwischen virtueller und digital erweiterter realer Umgebung. Damit werden sie zum Fenster ins Industrial Metaverse – und machen digitale Zwillinge für Menschen unmittelbar verständlich und handhabbar.

**DIE EIGENTLICHE HERAUSFORDERUNG DES INDUSTRIAL METAVERSE IST NICHT XR ODER KI, SONDERN DIE DIGITALE DURCHGÄNGIGKEIT. ERST WENN ENGINEERING-, SIMULATIONS-, PRODUKTIONS- UND BETRIEBSDATEN NAHTLOS ZUSAMMENFLIEßEN, ENTSTEHT EIN DURCHGÄNGIGER VIRTUELLER ARBEITSRAUM FÜR DAS ENGINEERING.**

### Mehrwert für die Produktentwicklung

Durch die Verschmelzung realer und virtueller Welt rückt die Vision eines durchgängigen virtuellen Engineerings näher. Produkte, Anlagen, Prozesse und Nutzungskontexte können früher digital entworfen, simuliert, getestet und optimiert werden – im Zusammenspiel aus digitalen Zwillingen, realen Daten, Simulationen und virtuellen Umgebungen.

Der Mehrwert entsteht entlang des gesamten Engineering-Prozesses: Varianten lassen sich vergleichen, Einbauräume, Bewegungsbahnen, Montage- und Servicekonzepte prüfen und Schnittstellen zwischen Disziplinen besser abstimmen. Entwicklungsstän-

de werden räumlich erlebbar und interaktiv validierbar; Fehler, Kollisionen oder unklare Zusammenhänge werden sichtbar, bevor teure Änderungen am physischen System entstehen. Zugleich erweitert sich der Betrachtungsraum über das Produkt hinaus: Auch Herstellung, Logistik, Nutzung und Betrieb können virtuell einbezogen werden – etwa beim vorab simulierten Transport eines Rotorblatts auf Basis digitaler Zwillinge von Bauteil und Schwerlastfahrzeug sowie dreidimensionaler Umgebungsdaten.

### Aktueller Stand: viele Bausteine, noch keine durchgängige Realität

Das Industrial Metaverse beschreibt eine starke Vision: ein durchgängiges, virtuelles und mit der realen Welt vernetztes Engineering-Ökosystem. In der Praxis entsteht diese Vision jedoch erst schrittweise. Viele heutige Anwendungen sind einzelne AR-, VR-, Simulations- oder Digital-Twin-Lösungen für klar abgegrenzte Aufgaben wie Design Reviews, Fabrikplanung, Trainings oder Remote Support.

Auch in eigenen Projekten hat das Fraunhofer IEM solche fokussierten Aspekte erprobt: Mit Claas wurde eine AR-Service-Anwendung erprobt, die Wartungsinformationen dreidimensional am realen Mähdrescher visualisiert. Bei Hella wurde mit dem Mixed Mock-up ein Ansatz eingeführt, der reale Montagesystem-Elemente mit virtuellen Produktkomponenten und Montagewerkzeugen zur Arbeitsplatzsimulation kombiniert. Solche Anwendungen sind wichtige Schritte, bilden aber meist noch keinen durchgängigen Daten- und Arbeitsraum über Systeme, Lebenszyklusphasen und Unternehmensgrenzen hinweg.

Der zentrale Engpass bleibt die digitale Durchgängigkeit. CAD-, PLM-, MBSE-, Simu-

lations-, Produktions- und Betriebsdaten müssen über Standards, Schnittstellen und semantische Datenmodelle zuverlässig verbunden werden. Gleichzeitig wachsen 3D-Plattformen, Simulationswerkzeuge, Datenräume, Digital-Twin-Technologien, KI und XR-Systeme zunehmend zusammen – vorangetrieben durch Unternehmen wie Siemens und Nvidia sowie Initiativen wie das Metaverse Standards Forum.

### Vision: KI als Sparringspartner im Virtual Systems Engineering

Denkt man diese Entwicklung weiter, kommen generative KI und KI-Avatare ins Spiel. In einem virtuellen Engineering-Raum arbeiten Ingenieurinnen und Ingenieure standortübergreifend am digitalen Zwillings – gemeinsam mit einem KI-basierten Avatar, der Anforderungen, Systemmodelle, CAD-Daten, Simulationsergebnisse, Betriebsdaten und frühere Entscheidungen kennt.

Sein Wissen basiert auf einem Knowledge Graph, der Engineering-Informationen semantisch vernetzt. Dadurch versteht der Avatar nicht nur einzelne Dokumente, sondern auch Zusammenhänge zwischen Bauteilen, Funktionen, Anforderungen, Fehlerbildern und Betriebszuständen. Im 3D-Raum kann er Fragen beantworten, Daten direkt am Modell einblenden, Alternativen vorschlagen oder auf Risiken hinweisen.

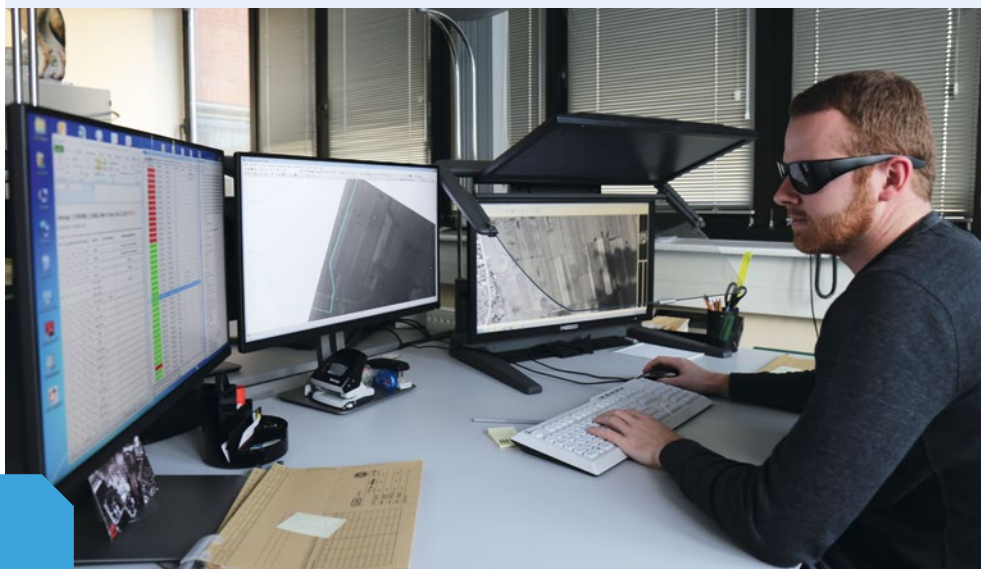
So entsteht eine neue Form des Virtual Systems Engineering: Mensch und KI arbeiten räumlich, vernetzt und im Kontext zusammen. Komplexe Engineering-Daten werden dialogfähig, sichtbar und handlungsnah – als Grundlage für schnellere, fundiertere und standortübergreifende Entwicklung. **« KF**

**Dr. Daniel Eckertz** ist Gruppenleiter Innovation Engineering am Fraunhofer IEM.

# SO WERDEN BAUSTELLEN „BOMBENSICHER“

Das Referat Gefahrenerkundung Kampfmittelverdacht (GEKV) der Feuerwehr Hamburg nutzt für eine optimale Effizienz bei der Krieglufbildauswertung die passiven Beamsplitter-Monitore 3D PluraView von Schneider Digital.

» VON DR. BERNHARD VALNION



Das 3D-PluraView-Display (2560 x 1440 Pixel) ist über die Anbindung an weitere 2D-Monitore vollständig in die Analyseprozesskette der Feuerwehr Hamburg integriert.

**H**amburg gehört zu jenen Städten Deutschlands, die im Zweiten Weltkrieg am schwersten gelitten haben. So entsprach das in der Hansestadt zerstörte Wohnungsvolumen dem Gesamtwohnungsbestand der Städte Nürnberg, Augsburg, Ludwigshafen, Würzburg und Regensburg zusammen. Zwischen dem 18. Mai 1940 und dem 17. April 1945 wurden 213 Luftangriffe auf Hamburg geflogen und insgesamt etwa 107.000 Spreng-, drei Millionen Stabbrand- und 300.000 Phosphorbrandbomben abgeworfen – mit erheblichen „Kollateralschäden“, denn rund 70 Prozent der Bebauung der Metropole wurden zerstört. Da kam alles vom Himmel herunter, was die Kriegskunst seiner Zeit so hergab. Die größten, bunkerbrechenden Bomben hatten ein Gewicht von 12.000 lbs (englische Pfund), die kleinsten Stabbrandbomben lagen bei vier lbs.

Und es wurde dokumentiert. Es gibt wohl keine andere Stadt auf der Welt, von der so

» **MIT STEREOSKOPIE GEHEN WIR AUF „ZEITREISE“. STEREO-ARBEITEN MIT DEM 3D-PLURAVIEW-MONITOR VERMITTELT UNS EINEN PLASTISCHEN, RÄUMLICHEN 3D-EINDRUCK DER SITUATION VOR ORT VOR 80 JAHREN.** «

viele Luftbildaufnahmen während des Krieges gemacht wurden. Von Hamburg sind derzeit 30.000 Bilder bekannt. „Ein weiterer Vorteil ist, dass in Hamburg fast keine Bodenkämpfe stattfanden. Ganz anders als in Köln oder Berlin. Wir können also davon ausgehen, dass die Kriegseinwirkungen ausschließlich durch Luftangriffe und nicht etwa durch Artilleriebeschuss zustande kamen“, erklärt Thomas Otto, Leiter des Referats Gefahrenerkundung Kampfmittelverdacht (GEKV) der Feuerwehr Hamburg. Die GEKV ist hoheitlich für die Einstufung von Baugrundstücken im Stadtgebiet bezüglich ihres Gefährdungspos-

tenzials in Hinsicht auf Kampfmittel zuständig. Die Einstufung erfolgt durch die Auswertung historischer Luftbilder der Alliierten und der deutschen Wehrmacht aus den Jahren 1940 bis 1946. Wenn verfügbar, werden Sekundärquellen wie Logbücher oder andere Niederschriften herangezogen, um die Entscheidung weiter abzusichern. Vor jeder baulichen Maßnahme in Hamburg muss genauestens überprüft werden, ob im zu bebauenden Bereich gegebenenfalls noch zu bergende Blindgänger schlummern.

## Präzise stereoskopische Luftbildauswertung – selbst bei Tageslicht

An den insgesamt 20 Arbeitsplätzen, die mit High-End Stereo-Displays vom Typ 3D PluraView von Schneider Digital aus dem oberbayerischen Holzkirchen ausgestattet sind, werden die Krieglufbilder stereoskopisch ausgewertet. Der 3D-PluraView-Monitor arbeitet mit der weiterentwickelten passiven 3D-Stereo- und Display-Technologie der vor Jahren eingestellten Beamsplitter-Serie von Planar. Innovative, zuverlässige Technik ist die Grundlage für präzise, stereoskopische Darstellung in höchster Qualität. Die 3D-PluraView-Beamsplitter-Technologie liefert pro Auge die volle Monitorauflösung von bis zu 4K in brillanter Helligkeit dank zweier Displays. „Ganz wichtig dabei ist die räumliche 3D-Stereodarstellung, weil wir so erkennen können, ob es sich bei einem schwarzen Punkt im Bild um eine Vertiefung oder Erhebung handelt: Eine Vertiefung kann ein Hinweis auf einen Blindgänger sein – Abwurfmunition also, die in den Boden zwar eingedrungen, nicht aber detoniert ist“, erklärt der Luftbildauswerter Matthias Otto und nennt ein weiteres Beispiel, bei dem die Überlappung zweier Aufnahmen hilft, einem Verdachtsfall auf die Spur zu kommen: „Stereoskopie vereinfacht zu erkennen, ob bei beschädigten Gebäuden die Zwischengeschosse vorhanden waren oder nicht.



**Hamburg gehört zu jenen Städten Deutschlands, die im Zweiten Weltkrieg am schwersten gelitten haben. So entsprach das in der Hansestadt zerstörte Wohnungsvolumen dem Gesamtwohnungsbestand der Städte Nürnberg, Augsburg, Ludwigshafen, Würzburg und Regensburg zusammen. Bild 2 zeigt eine Luftbildaufnahme der zerstörten Kirche St. Nikolai, Bild 3 die Kriegseinwirkungen im Bereich Hamburg-Wilhelmsburg.**

Sind diese erhalten geblieben, gilt der Teil des Grundstücks nicht als Verdachtsfläche, wenn jedoch keines der Geschosse mehr vorhanden war, durchaus.“

Es ist beeindruckend zu sehen, mit welcher Akribie und Feingefühl, die den Vergleich mit Sherlock Holmes nicht zu scheuen brauchen, das Team der Feuerwehr bei dieser „Zeitreise“ vorgeht und wie dabei die 3D-PluraView-Display-Technik hilft, gefährlichen Bomben und anderen Kriegshinterlassenschaften auf die Spur zu kommen. „Stereoskopie mit 3D-PluraView-Monitoren vermittelt uns einen plastischen, räumlichen, ja fast virtuellen Eindruck der Situation vor Ort vor 70 Jahren“, bringt es Matthias Otto auf den Punkt. Voraussetzung für eine derartige Auswertung ist, dass zwei zueinander versetzte Bilder der gleichen Szene vorliegen. „Meistens wurden Reihenaufnahmen gemacht, bei denen die Kamera in festen Zeitintervallen ausgelöst wurde. „Die Flughöhe der Aufklärungsmaschinen war nicht konstant, was zu Verzerrungen innerhalb des Luftbildes führt. Durch geeignete Methoden kann diese Verzerrung nahezu beseitigt werden, sodass dennoch eine sehr lagegenaue Auswertung ermöglicht wird“, erklärt der Luftbildauswerter. „Wenn ein dunkler Punkt nur auf einem Bild zu erkennen ist, liegt auf der Hand, dass es sich dabei um ein Artefakt handelt; oder andersherum kann der Fall eintreten, dass ein schwarzer Punkt im Monobild im Stereobild zum Beispiel nur eine Litfaßsäule offenbart.“ Als Auswertungssoftware kommen bei der Feuerwehr Hamburg hauptsächlich Erdas Imagine von Hexagon Geospatial und ArcGIS von Esri zum Einsatz.

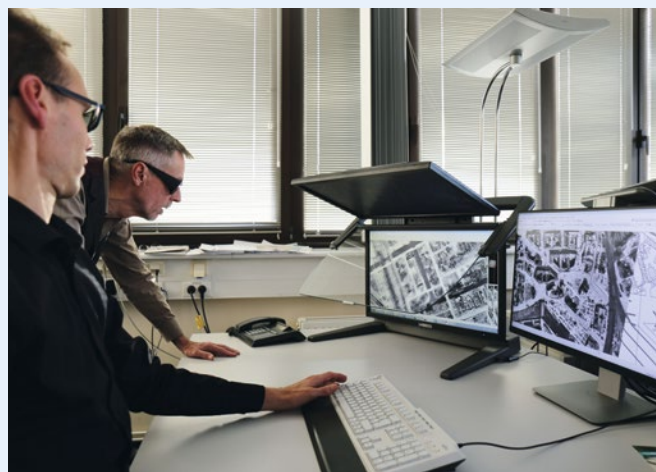
### JEDES LUFTBILD WURDE HOCHAUFLÖSEND EINGESCANNT.

Details auf 27“- beziehungsweise 28“-Bildschirmdiagonale, die ein 3D-PluraView-Display bietet.

Zertifiziert sind die Geräte für alle gängigen 3D-Stereosoftwares-Anwendungen in GIS, Photogrammetrie und Mapping, nicht nur von den bereits erwähnten Systemanbietern Hexagon (Geomedia) und Esri (ArcGIS), sondern auch von Trimble (Match-AT/DTMaster/UASMaster), Erdas (Imagine Photogrammetrie), TerraSolid (Terra Stereo), Rhino (SARL RhinoTerrain), PurView (PurView) oder Leica (Leica Geosystems). Die Feuerwehr Hamburg war der erste Großkunde der 3D-PluraView-Monitorgeneration. Der Hersteller präsentierte sie erstmals zur internationalen GIS-Messe Intergeo im Oktober 2016, und bereits einen Monat später wurden die ersten Geräte nach Hamburg geliefert. Gegenüber der Planar-Beamsplitter gab es neben der Displaygröße, der Helligkeit und der Auflösung eine Reihe von Verbesserungen. So ist das Monitorgestell nun erheblich stabiler ausgeführt – in höchster Made-in-Germany-Qualität – sodass es bei Berührungen praktisch nicht mehr nachschwingt. Der Vergangenheit gehören ebenso die abgeschrägten Spiegelkanten des Vorgängers an, die den seitlich versetzt stehenden Betrachter bei der Begutachtung bestimmter Bildausschnitte behindern konnte, wie Matthias Otto erläutert. Er weist zudem auf ein weiteres, sehr überzeugendes Argument hin: „Mit dem 3D-PluraView-Monitor kann ermüdungsfrei den ganzen Tag – auch bei Tageslicht und ohne, dass die Räume abgedunkelt werden müssen – gearbeitet werden.“

### Technologischer Fortschritt in „Siebenmeilenstiefeln“

„Wer in der Vergangenheit in der Geoinformatik eine professionelle, hochauflösende 3D-Stereo-Visualisierung benötigte, kam um die Beamsplitter-Monitorserie von Planar nicht herum. Der Spezialist für 3D-Stereo-, Virtual-Reality- (VR/AR), 4K- und High-End-Hardware Schneider Digital hat viel in die Weiterentwicklung der Beamsplitter-Technologie investiert. Dabei entstand eine innovative, völlig neue 3D-Monitor-Generation namens 3D PluraView, die wiederum mittlerweile als technische Benchmark im passiven 3D-Stereo-Bereich für die ganze Branche gilt. Im Gegensatz zu aktiven 3D-Monitoren ist der 3D PluraView völlig flimmerfrei und somit hervorragend für den professionellen, augenschonenden Dauereinsatz über einen ganzen Arbeitstag hinweg geeignet – und zwar unter Tageslichtbedingungen. „Arbeiten in abgedunkelten Räumen, wie es noch in den 1990er Jahren der Fall war, sind passé“, konstatiert Referatsleiter Thomas Otto. Der Markt ist hocherfreut über die gestochenen scharfe Bildqualität bis zu 4K/UHD pro Auge und Darstellung feinsten



**Im Wettstreit mit Blindgänger-Verdachtspunkt, Schornstein und Gullideckel: Mit großer Akribie wertet die Feuerwehr Hamburg Kriegaufnahmen aus, um den Kampfmittelverdacht zu klären. 3D-Stereoskopie hilft bei der Unterscheidung von Absenkungen und Erhebungen.**



Es fehlte den Kriegsparteien nicht an Kreativität beim Design von Abwurfmunition. Unser Bild zeigt eine Stabbrandbombe mit einem Gewicht von 4lbs (rund 1,8kg). Ein Einschlag dieses Kalibers lässt sich allerdings in Luftkriegsaufnahmen nicht direkt nachweisen.

### Blindgänger können abtauchen und verschwinden

Das Stadtgebiet von Hamburg umfasst eine Fläche von 755 Quadratkilometern. Jeder entdeckte Einschlagspunkt wird genau eingemessen und die Abdrift des Bombenblindgängers berücksichtigt. Zunächst ging man von einer maximalen Differenz zwischen Eintritt in die Erdoberfläche bis zum endgültigen Lagepunkt von vier bis fünf Metern aus. „Heute weiß man jedoch, dass es bis zu neun Meter sein können. Im vergangenen Jahr wurden drei Blindgänger an Stellen gefunden, bei denen man in den 1990er Jahren im Umkreis von fünf Metern um den Einschlagspunkt nach ihnen gesucht und nichts gefunden hatte“, gibt der Leiter des Referats, Thomas Otto, zu bedenken. Seit Kriegsbeginn sind rund 11.000 Blindgängermeldungen bekannt, von denen ein Teil bereits während des Krieges beseitigt wurde. Die Verwendung der Kriegsmeldungen bereiten besondere Herausforderungen, da vor dem Aufbau der GEKV keine umfassende Dokumentation der Beseitigung durchgeführt wurde. Thomas Otto hat bereits 1990 begonnen, eine systematische Auswertung und Datenbanken aus Luftbildern von Primär- und Sekundärquellen bei der Feuerwehr Hamburg aufzubauen. Die notwendigen profunden Kenntnisse hat er sich selbst angeeignet und später ein Mitarbeiterschulungsprogramm ins Leben gerufen, denn: Eine Berufsausbildung für die Gefahrmittelerkennung mittels Kriegluftbilder gibt es schlichtweg nicht.

### 3D PluraView als Benchmark für die 3D-Stereoskopie

Seit 2004 werden bei der Feuerwehr Hamburg die Kriegluftbilder ausschließlich digital analysiert. Ab diesem Zeitpunkt stand eine Software zur Verfügung, um beispiels-

weise Bildmarken einzufügen und mit Näherungswerten für Brennweiten und Flughöhen arbeiten zu können. Bereits damals wurden von Schneider Digital NewVision-Systeme mit Röhrenmonitoren bezogen. Zuvor wurde ein System mit Shutter-Brillen eingesetzt, „was sehr anstrengend für die Augen war. Die Monitore spiegelten so sehr, dass man zwar sich selbst hervorragend, die Luftbilder aber nur mäßig erkennen konnte“, erinnert sich Thomas Otto mit einem Schmunzeln. Die große Stunde der ersten passiven 3D-Stereo-Planar-Monitorsysteme mit Beam-splitter-Technologie kam im Jahr 2009. Sie haben die systemtechnische Unterstützung bei der Fernerkundung auf eine neue Stufe gehoben. Diese 20 Stereo Luftbildauswertungsarbeitsplätze werden nun Schritt für Schritt mit 3D-PluraView-Technologie ausgerüstet, die die Planar-Displays ablösen. Wie hat sich im Zuge der Digitalisierung die

### EINE NACHTRÄGLICHE BILDBEARBEITUNG KÖNNTE DIE INFORMATIONEN VERFÄLSCHEN.

Arbeitsweise geändert? Thomas Otto macht zunächst deutlich: „Durch die Menge an zu bewältigenden Anträgen war klar, dass wir neue Mitarbeiter einstellen mussten. Waren es vor der Digitalisierung im Jahr 2004 noch gut 200 Anträge, so sind es heute rund 11.000 im Jahr.“ Aber warum so viele Anträge – 80 Jahre nach dem Krieg? In Hamburg muss vor jeder baulichen Maßnahme eine Abfrage durchgeführt werden. Hierzu muss bei der GEKV ein Antrag auf Gefahrenerkundung/Luftbildauswertung vom Grundstücksbesitzer bzw. dem Veranlasser des Eingriffs in den Baugrund eingereicht werden. Dank unter anderem 3D-PluraView-Monitore be-



Ein Blindgänger im Stadtgebiet Hamburg kurz vor seiner Entschärfung.

Bilder: GEKV/Schneider Digital

kommt der Antragsteller einen Kartenausschnitt über die geplante Bebauungsfläche mit möglichst präzisen Informationen über das Gefährdungspotenzial. Ein Privatdienstleister macht sich mit diesen Detailinformationen der GEKV vor Ort auf die Suche, falls Verdacht auf Blindgänger besteht. Um die Auftragsflut zu bewältigen und Bearbeitungsprozesse zu beschleunigen wurde mit Hochdruck daran gearbeitet, alle Register der Prozessautomatisierung zu ziehen, wie Thomas Otto versichert. Zum Beispiel wurden alle Flächen von Hamburg digital über ein GIS-System erfasst und die Datenbanken weiter professionalisiert. Jedes Luftbild, das der Auswertung zur Verfügung stehen soll, wurde hochauflösend eingescannt, wobei nur Rohdaten verwendet werden, da eine nachträgliche Bildbearbeitung oder „Optimierung mittels Software“ den Informationsgehalt verfälschen kann.

### Menschliche Intelligenz übertrifft Künstliche (KI)

Gemeinsam mit dem Softwareanbieter Esri aus der Schweiz wurde eine Software auf Basis deren ImageServer-Technologie entwickelt, um ein möglichst schnelles Retrieval der Bilder zu erreichen. Ein großer Vorteil dieser Anstrengungen sei, so Matthias Otto weiter, dass nun mehrere Mitarbeiter gleichzeitig parallel am selben Bild arbeiten könnten, was zuvor an physischen Aufnahmen nicht möglich war. „Das war ein großer Schritt, unsere Abläufe zu beschleunigen.“ Künstliche Intelligenz mit ihren Möglichkeiten der Mustererkennung macht derzeit nicht nur in Expertenkreisen die Runde. Da scheint doch die Luftbildauswertung ein lohnendes Anwendungsfeld zu sein. Thomas Otto winkt ab: „Wir haben das sehr intensiv getestet und untersucht. Uns bringt die Mustererkennung auf Pixelbasis nicht weiter, denn die Trefferquote der maschinellen Bildanalyse ist viel zu gering. Bedenken Sie: Es würden nur ein Anteil der Bomben, die in einem Kriegluftbild tatsächlich dokumentiert sind, nachgewiesen. Das ist viel zu unsicher. Als Anhänger der konsequenten Digitalisierung und Automatisierung müssen selbst wir uns hier geschlagen geben. Wir vertrauen Digitalisierung und Automatisierung nur dort, wo es Sinn macht, beziehungsweise, wo es zum Wohle des besten und sichersten Ergebnisses ist. Bei uns heißt das: Professionelle GIS-Software plus 3D-PluraView-Monitore plus ein menschlicher Spezialist für die professionelle Analyse und sicherste Interpretation.“ **« KIS**

Dr. Bernhard Valnion ist freier Fachjournalist.

# MARKET-PLACE

Anbieter & Dienstleister



## CAD/CAM-SYSTEM PEPs

- Drahterodieren
- Fräsen
- Drehen
- Laser- und Wasserstrahlschneiden

## CAD/CAM-SYSTEM OPTICAM

- Drahterodieren in SOLIDWORKS
- Drahterodieren in hyperMILL CAD
- Drahterodieren in Siemens NX
- Drahterodieren in SolidCut CAD
- Drahterodieren in GibbsCAM

### Camtek GmbH

CAD/CAM-Systeme  
Werkstraße 24  
71384 Weinstadt  
Tel.: 071 51 / 97 92-02  
E-Mail: [info@Camtek.de](mailto:info@Camtek.de)  
Internet: [www.Camtek.de](http://www.Camtek.de)



COMSOL ist ein weltweiter Anbieter von Simulationssoftware für Produktdesign, Engineering und Forschung in technischen Unternehmen, Labors und Universitäten.

COMSOL Multiphysics® ist eine integrierte Umgebung für die Erstellung physikbasierter Modelle und Simulations-Apps.

Simulationsexperten nutzen COMSOL Server™ und COMSOL Compiler™, um Simulations-Apps für Designteams und Kunden weltweit bereitzustellen.

### Comsol Multiphysics GmbH

Robert-Gernhardt-Platz 1  
37073 Göttingen  
Tel: +49 551 99721-0  
Fax: +49 551 99721-29  
[info@comsol.de](mailto:info@comsol.de)  
[www.comsol.de](http://www.comsol.de)



## ANTRIEBSTECHNIK MADE IN KELHEIM

Die Heidrive GmbH ist ein innovativer Antriebsspezialist mit über 300 Mitarbeiter/innen und hat ihren Sitz in Kelheim. Unsere kundenspezifischen Antriebslösungen werden in den Branchen Industrie, Robotik, Intralogistik sowie Medizin-, Labor-, Lebensmittel-, Luftfahrttechnik und vielen weiteren Bereichen angewendet.

### Heidrive GmbH

Starenstraße 23  
93309 Kelheim  
Tel.: 0 94 41 / 707-0  
Fax: 0 94 41 / 707-257  
E-Mail: [info@heidrive.de](mailto:info@heidrive.de)  
Internet: [www.heidrive.com](http://www.heidrive.com)



Schneider Digital ist Full-Service Lösungsanbieter für professionelle 3D-Stereo-, 4K/8K- und VR/AR-Hardware mit Schwerpunkt auf Performance in Datenverarbeitung und -Visualisierung. Unser Produktportfolio: High Resolution 4K/8K-Monitore (UHD), 3D-Stereo- und Touch-Monitore von 22" bis 100", VR/AR-Lösungen, vom Desktop-System bis hin zu Multi-Display-Walls. Schneider Digital ist Hersteller der eigenen Powerwall-Lösung Laser smartVR-Wall sowie des passiven 3D-Stereomonitors und Desktop VR-Systems 3D PluraView. Eigenentwickelte Performance-Workstations mit Profi-Grafikkarten von AMD und NVIDIA sowie innovative Hardware-Peripherie (Tracking, Eingabegeräte u.v.a.) komplettieren das Angebot zu ganzheitlichen Arbeitsplatz-Lösungen für alle anspruchsvollen Einsatzbereiche in Konstruktion/Design/CAX und Simulation.

### Schneider Digital

Josef J. Schneider e.K.  
Maxlainer Straße 10, D-83714 Miesbach  
Tel.: +49 (8025) 9930-0  
Mail: [info@schneider-digital.com](mailto:info@schneider-digital.com)  
Web: [www.schneider-digital.com](http://www.schneider-digital.com)



Wenn Sie sich in diesem Bereich mit einem Eintrag platzieren möchten, wenden Sie sich bitte an

**Herr Michael Nerke,**  
Tel. 0 89/3 86 66 17 20,  
[michael.nerke@win-verlag.de](mailto:michael.nerke@win-verlag.de)

## IM NÄCHSTEN HEFT

### BRANCHE: WERKZEUGMASCHINENBAU

Passend zur AMB in Stuttgart (15. bis 19. September 2026) widmet sich die nächste Ausgabe in einem Schwerpunktthema den aktuellen Entwicklungen im Werkzeugmaschinenbau. Im Fokus stehen innovative Fertigungstechnologien, Automatisierung, Digitalisierung sowie Software und Komponenten für moderne Werkzeugmaschinen. Ergänzt wird das Themenspektrum durch nachhaltige Produktionskonzepte, wegweisende Trends und praxisnahe Lösungen aus einer Branche, die die industrielle Fertigung maßgeblich prägt.

Bild: © Benjamin /stock.adobe.com (generiert mit KI)



### CAD/CAM-LÖSUNGEN (INKLUSIVE EXPERTENTALK)

CAD/CAM-Lösungen stehen im Fokus unseres Specials der nächsten Ausgabe. Freuen Sie sich auf aktuelle Entwicklungen, praxisnahe Anwendungen und innovative Technologien für die digitale Fertigung. Ein Highlight ist der Expertentalk, in dem Fachleute Trends, Herausforderungen und Zukunftsaussichten diskutieren. Ergänzt wird das Special durch spannende Fachbeiträge und Anwenderberichte.

Bild: © AD/stock.adobe.com



### DIGITALE FERTIGUNGSPLATTFORMEN

Digitale Fertigungsplattformen beschleunigen den Weg von der CAD-Datei zum fertigen Bauteil. Mit KI-gestützter Angebotserstellung, DFM-Analysen, vernetzten Lieferketten und transparenten Produktionsprozessen sorgen sie für mehr Effizienz und Planungssicherheit. Lesen Sie in der kommenden Ausgabe, welche Lösungen den Markt prägen und worauf Unternehmen bei der Auswahl achten sollten.

Bild: © Vadym/stock.adobe.com (generiert mit KI)



### WEITERE THEMEN IN DER KOMMENDEN AUSGABE:

- Quantencomputing und Simulation
- ERP-PLM-Anbindung
- Sicherheitstechnik (Lichtschranken, Positionsschalter, Türzuhaltungen)
- IT-Security

## IMPRESSUM

### Herausgeber und Geschäftsführer:

Matthias Bauer (Vorsitz), Dennis Hirthammer  
DIGITAL ENGINEERING MAGAZIN im Internet:  
<http://www.digital-engineering-magazin.de>

### So erreichen Sie die Redaktion:

**Chefredaktion:** Rainer Trummer (v.i.S.d.P.),  
(089-3866617-10, [rainer.trummer@win-verlag.de](mailto:rainer.trummer@win-verlag.de))  
**Redaktion:** Karin Faulstich (karin.faulstich@win-verlag.de),  
Tino M. Böhrer (tino.boehrer@win-verlag.de), Frida Dumann (Werkstudentin)  
Kirsten Seegmüller (externe Mitarbeiterin),  
[kirsten.seegmueller@extern.win-verlag.de](mailto:kirsten.seegmueller@extern.win-verlag.de))

### Mitarbeiter dieser Ausgabe:

Jan Berner, Robert Bray, Nora Crocoll, Dr. Daniel Eckertz, Alexandra Eichner,  
Silvia Feder, Dr.-Ing. Bassem Hassan, Mark Hindsbo, Alexander Holst,  
Alex Homburg, Daniel Kaiser, André Kälin, Florian Kotz, Thorsten Krebs,  
Mario Mauere, Dr. Thomas Melde, Jan Möller, Michele Del Mondo,  
Kiana Mostajabian, Germar Nikol, Frank Scheufens, Tobias Schmidt,  
Holger Seidel, Dr. Thomas Tosse, Alessio Venturelli, Jan C. Wendenburg

### So erreichen Sie die Anzeigenabteilung:

**Anzeigengesamtleitung:**  
Martina Summer (089-3866617-31, [martina.summer@win-verlag.de](mailto:martina.summer@win-verlag.de)),  
Anzeigenverantwortlich  
**Mediaberatung:**  
Michael Nerke (Anzeigenverkaufsleiter,  
Tel.: 089-3866617-20, [michael.nerke@win-verlag.de](mailto:michael.nerke@win-verlag.de)),  
Maximilian Schröck (Tel.: 089-3866617-34,  
[maximilian.schroeck@win-verlag.de](mailto:maximilian.schroeck@win-verlag.de))  
**Anzeigendisposition:**  
[Auftragsmanagement@win-verlag.de](mailto:Auftragsmanagement@win-verlag.de)  
Chris Kerler (089/3866617-32, [chris.kerler@win-verlag.de](mailto:chris.kerler@win-verlag.de))

### Abonentenservice und Vertrieb

Tel.: +49 89 3866617 46  
[www.digital-engineering-magazin.de/hilfe](http://www.digital-engineering-magazin.de/hilfe)  
oder eMail an  
[abovetrib@win-verlag.de](mailto:abovetrib@win-verlag.de) mit Betreff „DIGITAL ENGINEERING Magazin“  
Gerne mit Angabe Ihrer Kundennummer vom Adressetikett

### Artdirection und Titelgestaltung:

Saskia Kölliker Grafik, München  
**Bildnachweis/Fotos:** falls nicht gekennzeichnet: Werkfotos,  
AdobeStock, shutterstock.com  
**Titelbild:** Simus Systems GmbH

**Druck:** Vogel Druck und Medienservice GmbH  
Leibnizstraße 5, 97204 Höchberg

### Produktion und Herstellung:

Jens Einloft (089/3866617-36, [jens.einloft@win-verlag.de](mailto:jens.einloft@win-verlag.de))

### Anschrift Anzeigen, Vertrieb und alle Verantwortlichen:

**WIN**  
**VERLAG** WIN-Verlag GmbH & Co. KG  
Chiemgaustraße 148, 81549 München  
Tel.: 089-3866617-0

### Verlagsleitung:

Martina Summer (089/3866617-31, [martina.summer@win-verlag.de](mailto:martina.summer@win-verlag.de))

### Objektleitung:

Rainer Trummer (089/3866617-10, [rainer.trummer@win-verlag.de](mailto:rainer.trummer@win-verlag.de))

### Zentrale Anlaufstelle für Fragen zur Produktsicherheit

Martina Summer (089/3866617-31, [martina.summer@win-verlag.de](mailto:martina.summer@win-verlag.de))

### Bezugspreise:

Einzelverkaufspreis: 14,40 Euro in D, A, CH und 16,60 Euro in den weiteren EU-Ländern inkl. Porto und MwSt. Jahresabonnement (8 Ausgaben): 115,20 Euro in D, A, CH und 132,80 Euro in den weiteren EU-Ländern inkl. Porto und MwSt. Vorzugspreis für Studenten, Schüler, Auszubildende und Wehrdienstleistende gegen Vorlage eines Nachweises auf Anfrage. Bezugspreise außerhalb der EU auf Anfrage.

### 28. Jahrgang

#### Erscheinungsweise: achtmal jährlich

**Einsendungen:** Redaktionelle Beiträge werden gerne von der Redaktion entgegen genommen. Die Zustimmung zum Abdruck und zur Vervielfältigung wird vorausgesetzt. Gleichzeitig versichert der Verfasser, dass die Einsendungen frei von Rechten Dritter sind und nicht bereits an anderer Stelle zur Veröffentlichung oder gewerblicher Nutzung angeboten wurden. Honorare nach Vereinbarung. Mit der Erfüllung der Honorarvereinbarung ist die gesamte, technisch mögliche Verwertung der umfassenden Nutzungsrechte durch den Verlag – auch wiederholt und in Zusammenfassungen – abgegolten. Eine Haftung für die Richtigkeit der Veröffentlichung kann trotz Prüfung durch die Redaktion vom Herausgeber nicht übernommen werden.

### Copyright © 2026 für alle Beiträge bei der WIN-Verlag GmbH & Co. KG

Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages vervielfältigt oder verbreitet werden. Unter dieses Verbot fallen insbesondere der Nachdruck, die gewerbliche Vervielfältigung per Kopie, die Aufnahme in elektronische Datenbanken und die Vervielfältigung auf CD-ROM und allen anderen elektronischen Datenträgern.



ISSN 1618-002X, Ausgabe 05/2026  
Unsere Papiere sind PEFC zertifiziert.  
Wir drucken mit mineralölfreien Druckfarben.

### Außerdem erscheinen bei der WIN-Verlag GmbH & Co. KG:

AUTOCAD Magazin, BAUEN AKTUELL, DIGITAL BUSINESS,  
DIGITAL MANUFACTURING, e-commerce Magazin, KGK Rubberpoint,  
PlastXnow, Plastverarbeiter, r.energy



**WIN**

**VERLAG**

**MEDIEN.**

**MÄRKTE.**

**MENSCHEN.**

EIN PARTNER.  
VIELE KANÄLE.  
SICHTBARKEIT  
AUF ALLEN EBENEN.

**AUTOCAD**  
MAGAZIN

**BAUEN**  
**AKTUELL**

**DIGITAL BUSINESS**

**DIGITAL ENGINEERING**  
MAGAZIN

**DIGITAL MANUFACTURING**

**e-commerce** magazin  
DER DIGITALE WEG ZUM KUNDEN

**KGK** RUBBERPOINT  
Kautschuk | Gummi | Kunststoffe

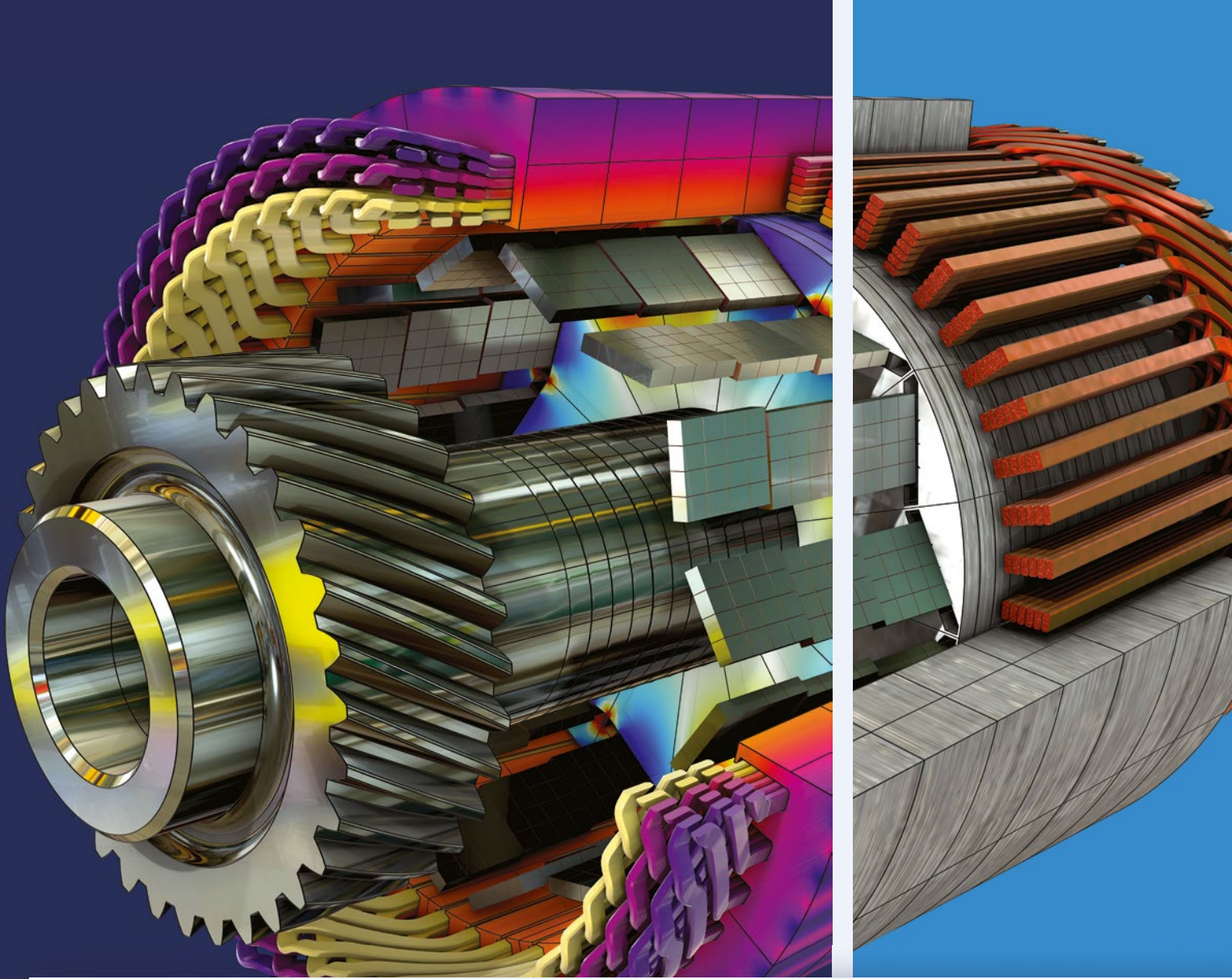
**r.energy**  
ERNEUERBARE ENERGIEN UND DIGITALISIERUNG

**PLAST** VERARBEITER

**PLAST** X  
**NOW**



win-verlag.de



# Power Innovation in der Automobilentwicklung

mit COMSOL Multiphysics®

Multiphysik-Simulationssoftware ist die Grundlage für Innovation von elektrischen Komponenten, Batterien, Soundsystemen und anderen Fahrzeugteilen. Modelle, welche die reale Welt genau wiedergeben, erlauben Ingenieuren ihre Entwürfe schneller zu entwickeln, zu testen und zu überprüfen.

» [comsol.de/feature/automobilindustrie-innovation](https://comsol.de/feature/automobilindustrie-innovation)