

# DIGITAL ENGINEERING MAGAZIN

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



Bild: © Mike/stock.adobe.com | Hintergrund: © Lukas Gajda/stock.adobe.com

LUFT- UND RAUMFAHRT IM FOKUS

## Vom virtuellen Modell zur realen Mission

**FEHLER VERMEIDEN,  
KOSTEN SPAREN**

Digitale Zwillinge im Planungsprozess einer Maschine

**DIGITALE SOUVERÄNITÄT  
IM ENGINEERING**

Souveräne Cloud als Grundlage für neue Wettbewerbsvorteile

Mit Special:  
**SENSORIK & MESSTECHNIK**

**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



# WIE MODERNES ENGINEERING DIE INDUSTRIE VERÄNDERT

## Liebe Leserinnen und Leser,

die Anforderungen an das Engineering wachsen in nahezu allen Industriebereichen. Entwicklungszyklen verkürzen sich, Produkte werden komplexer, und gleichzeitig steigt der Druck, effizienter, nachhaltiger und resilienter zu produzieren. Für Konstrukteure, Entwickler und Ingenieure bedeutet das: Prozesse, Werkzeuge und Technologien müssen heute deutlich integrierter gedacht werden als früher.

Besonders sichtbar wird dieser Wandel im Schaltschrankbau. Softwaregestützte Planung, digitale Zwillinge und automatisierte Engineering-Prozesse verändern die klassische Projektierung grundlegend. Moderne Komponenten liefern längst nicht mehr nur elektrische Funktionalität, sondern entwickeln sich immer mehr in Richtung vernetzte Systeme. Mehr darüber lesen Sie in unserem Schwerpunkt auf den Seiten 22 bis 28.

Aber auch die Sensorik und Messtechnik entwickelt sich zu einem Innovationstreiber industrieller Anwendungen. Intelligente Sensoren ermöglichen es, Prozesse in Echtzeit zu überwachen und zu optimieren. Gerade in hochautomatisierten Produktionsumgebungen entscheidet die Qualität der Messdaten zunehmend über Effizienz, Energieverbrauch und Produktqualität. Die Verbindung aus Sensorik, Software und Analysekompetenz eröffnet dabei völlig neue Möglichkeiten für adaptive und selbstoptimierende Systeme. Mehr zum Thema Sensorik & Messtechnik lesen Sie im Special auf den Seiten 29 bis 43. Und wie führende Spezialisten dieses Thema einordnen, erfahren Sie in unserer Expertenfrage auf den Seiten 36 bis 39.

Wie softwarebasierte Entwicklung heute ganze Branchen prägt, zeigt auch die Luft- und Raumfahrtindustrie (Seite 46 bis 51). Hier müssen komplexe Systeme entwickelt, getestet und abgesichert werden. Leistungsfähige Simulationslösungen helfen dabei, Entwicklungszeiten zu reduzieren. Eine Schlüsselrolle übernimmt hier High Performance Computing (Seite 52 bis 57). Simulationen, die früher Tage oder Wochen benötigten, lassen sich heute in deutlich kürzerer Zeit durchführen. Das beschleunigt nicht nur Entwicklungsprozesse, sondern schafft Raum für neue Ansätze – etwa bei digitalen Zwillingen, KI-gestützter Analyse oder multidisziplinären Simulationen.



**RAINER TRUMMER**  
Chefredakteur

IIoT-PLATFORM  
**moneo**  
USE THE POWER OF YOUR DATA



## SENSOR TO CLOUD



Connect data from  
plant floor



Transform data into  
information



Get actionable  
insights



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



sensors. software. solutions. **ifm.com**



24


## EFFIZIENZSTEIGERUNG IM SCHALTSCHRANKBAU

Der Schaltschrankbau befindet sich im Wandel: Steigende Variantenvielfalt, kürzere Lieferzeiten und der Fachkräftemangel treffen auf manuelle Prozesse. Die Lösung liegt in digitalen Services: Daten werden nahtlos in bestellbare Lösungen überführt. Das reduziert die Komplexität in operativen Abläufen und entlastet das Fachpersonal.

Bild: Phoenix Contact

8

## KÜNSTLICHE INTELLIGENZ ALS MOTOR IM ENGINEERING




Noch arbeitet KI oft im Hintergrund – doch bald soll sie zum aktiven Partner im Engineering werden. Andreas Furs, Head of Professional Services bei Var Industries, erläutert, wie intelligente Vernetzung von Daten und Systemen Produktentstehungsprozesse revolutioniert und Ingenieuren mehr Raum für Innovationen verschafft.

Bild: Var Industries

18

## SCHNELLERE WARTUNG DANK DIGITALER SCHALTPLÄNE



Per Scan mit der Cabinet AR App von WSCAD erhalten Techniker vor Ort sofort Zugriff auf die zugehörigen Schaltpläne, Artikel-daten und Herstellerdatenblätter. Auch Ersatzteilanforderungen und Änderungen lassen sich direkt dokumentieren.

Bild: Rotkäppchen

### REDAKTIONELL ERWÄHNTE INSTITUTIONEN, ANBIETER UND VERANSTALTER

a.b.jödden S. 42, ACE Stoßdämpfer S. 29, AMA Service S. 6, Amazon Business S. 10, Blum-Novotest S. 40, Cadfem S. 34, Comsol Multiphysics S. 46, Deutsche Messe S. 6, Fritz Kübler S. 36, Fsas Technologies S. 56, Fujitsu S. 56, Gefran S. 37, GNS Systems S. 54, Gofore S. 12, GTM Testing and Metrology S. 32, Hummel S. 16, IDS Imaging Development Systems S. 50, Ip electronic S. 37, Jumo S. 37, Kistler S. 38, Mensch und Maschine S. 20, Panduit S. 26, Pepperl+Fuchs S. 38, Phoenix Contact S. 24, PTC S. 6, 48, Sensor+Test S. 6, SEW-Eurodrive S. 14, Sick S. 38, Sicos BW S. 52, Siemens Digital Industries Software S. 44, Tsubaki Kabelschlepp S. 58, Var Industries S. 8, Wago S. 22, Wenglor S. 39, WSCAD S. 18

## AKTUELL

### 6 Märkte & Trends

Neue Produkte und News aus den Unternehmen

## MANAGEMENT

### 8 KI = Kluge Ingenieurskunst

Künstliche Intelligenz als Motor im Engineering

### 10 Wie der Einkauf reif wird für Predictive AI

Resilienz mit Weitblick

### 12 Digitale Zwillinge für bessere Entscheidungen

Kontext statt Datenflut

### 14 Virtuelles Rollenspiel

Digitale Zwillinge im Planungsprozess einer Maschine

### 16 „Globaler Marktzugang beginnt in der Entwicklung“

Interview: Warum Hummel Produktzulassungen als strategischen Wettbewerbsvorteil sieht

## CAD & DESIGN

### 18 Schnellere Wartung dank digitaler Schaltpläne

Rotkäppchen setzt auf WSCAD

### 20 Schifffahrt möglich machen

Elektroplanung von Schleusensteuerungen

## SCHALTSCHRANKBAU IM FOKUS

### 22 Durchgängige Prozesse im Schaltschrankbau

Wie Software und Komponenten effizient zusammenspielen

### 24 Vom Engineering ohne Umwege zur Bestellung

Effizienzsteigerung im Schaltschrankbau durch digitalen Klemmenleisterservice

### 26 Spannungsfreischaltung auf See: Ein Knopfdruck genügt

So lässt sich die Spannungsfreiheit von Schränken noch einfacher feststellen

## SPECIAL SENSORIK & MESSTECHNIK

### 29 Neuer Prüfstand: Die Geschichte eines Updates

ACE testet Kleinstoßdämpfer für Hightech-Kunden mit modernster Prüftechnik

### 32 Der Weg zuintelligenten MKA

Kräfte ganzheitlich statt eindimensional messen

### 34 Messung und Simulation: zwei Welten – ein Ziel

Dynamische Simulationsanwendungen mit dem NVH Toolkit der Software Ansys Mechanical von Cadfem

### 36 Im Spagat zwischen Präzision, Schnelligkeit und Kostensensibilität

Expertenumfrage: Sensorik und Messtechnik

### 40 30 Prozent schneller in der Produktion

Bott optimiert Fertigungsprozesse mit der Mess- und Automatisierungssoftware FormControl X

### 42 Schweißverzug in Echtzeit erkennen

Inline-Messtechnik

## SIMULATION & VISUALISIERUNG

### 44 Schneller von der Idee zur Realität

Wie Unternehmen von konstruktions-integrierter Simulation profitieren

## BRANCHE LUFT- UND RAUMFAHRT

### 46 Thermomanagement im Orbit

Simulation hilft bei der Entwicklung von Kleinsatelliten

### 48 Transportdrohnen schneller und kostengünstiger entwickeln

Cloud-Engineering beschleunigt Luftfahrtinnovation

### 50 Digitale Präzision im Flugzeugbau

3D-Kamera ermöglicht exakte Positionierung von Installationspunkten

## HARDWARE & PERIPHERIE

### 52 KI-Modelle senken CFD-Kosten massiv

HPC und KI für nachhaltige Simulationen

### 54 Ein strategischer Ansatz für resiliente Datenprozesse

Unternehmen müssen eine digitale Souveränität im Engineering aufbauen

### 56 Quantencomputing als strategische Pflichtaufgabe

Der Weg zum Quantenvorteil

## ELEKTROTECHNIK & AUTOMATION

### 58 3D-Druck als nachhaltige Alternative

Wie Tsubaki Kabelschlepp Entwicklungszeiten halbiert und Ressourcen spart

3 EDITORIAL

61 MARKTPLATZ

62 IMPRESSUM

62 VORSCHAU

Rückblick auf die Hannover Messe 2026

## WEGE IN EINE WETTBEWERBSFÄHIGE ZUKUNFT

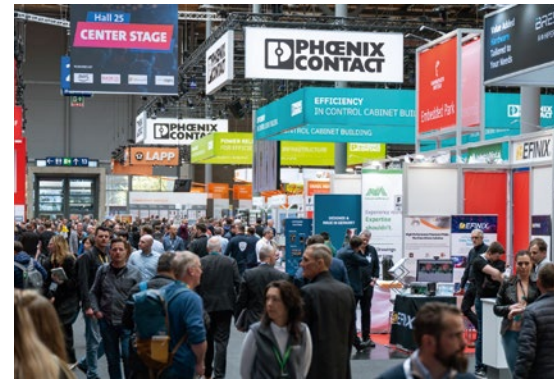
Die Hannover Messe 2026 hat gezeigt, dass die Industrie auch in herausfordernden Zeiten konkrete Lösungen liefert. Künstliche Intelligenz, Automatisierung und Digitalisierung spielen dabei eine zentrale Rolle, um Produktionsprozesse effizienter zu gestalten und die Wettbewerbsfähigkeit zu stärken.

110.000 Besucherinnen und Besucher aus aller Welt nahmen an der weltweit führenden Messe für die produzierende Industrie teil. Damit lag die Beteiligung zwar unter dem Vorjahresniveau (2025: 123.000 Besucher) – Streiks im Flug- und öffentlichen Nahverkehr erschwerten allerdings die Anreise. Doch die Qualität der Begegnungen und die Dynamik in den Hallen zeigen klar: Die Technologien

sind vorhanden, die Ansätze erprobt – jetzt geht es darum, sie konsequent umzusetzen.

So präsentierten Unternehmen unter anderem: KI-gestützte Produktionssysteme und -assistenten, die Prozesse automatisieren und Ausfälle vorhersagen können, humanoide Roboter, die bereits heute komplexe Bewegungsabläufe beherrschen und perspektivisch in Produktion und Service eingesetzt werden können, sowie neue Lösungen für Energieeffizienz und Netzausbau, die den Weg in eine klimaneutrale Industrie ebnen.

Mit Blick auf 2027 setzt die Hannover Messe ihren konsequenten Weg der Weiterentwicklung fort. Eine zentrale Neuerung betrifft die Laufzeit der Industriemesse: Von 2027



**Hannover Messe 2026: Im Zentrum standen künstliche Intelligenz, Robotik, Automatisierung und Energieinfrastruktur.**

Bild: Deutsche Messe AG/Rainer Jensen

an konzentriert sich die Hannover Messe auf die besucherstärksten Tage und findet dann von Montag, 5. April, bis Donnerstag, 8. April 2027, statt.



Der Windchill AI Assistant von PTC ermöglicht es Anwendern, Fragen in natürlicher Sprache zu stellen.

Bild: PTC

PTC

## VEREINFACHTER ZUGRIFF AUF PRODUKTDATEN

PTC hat den neuen Windchill AI Assistant in seine PLM-Lösung Windchill integriert. Damit steht generative KI über eine natürlichsprachliche Chat-Oberfläche in Windchill zur Verfügung. Dies ermöglicht es Anwendern, wichtige Produktinformationen, die bereits auf der Plattform gespeichert sind, leichter zu finden, zu verstehen und zu nutzen, sodass sich der Zeitaufwand für die Suche reduziert und die Produktivität der Teams steigt.

Mit der steigenden Komplexität von Produktdaten haben Entwicklungs- und Fertigungsteams oft Schwierigkeiten, in umfangreichen Dokumenten bestimmte Informationen zu finden. Der Windchill AI Assistant löst dieses Problem. Er ermöglicht es Anwendern, Fragen in natürlicher Sprache zu stellen und kontextbezogene Antworten oder Zusammenfassungen zu erhalten, die auf den Inhalten der Windchill-Dokumente basieren.

Alle Antworten verweisen direkt auf die Informationsquelle, so dass jede Antwort fundiert ist und die Zugriffsregeln zuverlässig eingehalten werden. Dies trägt dazu bei, Transparenz, Sicherheit und Vertrauen in die Lösung zu schaffen.

Der Windchill AI Assistant wird als Plugin bereitgestellt.

Sensor+Test 2026

## HOTSPOT FÜR SENSORIK, MESS- UND PRÜFTECHNIK

Vom 9. bis 11. Juni 2026 wird Nürnberg erneut zum internationalen Hotspot für Sensorik, Mess- und Prüftechnik. Die Sensor+Test vereint industrielle Praxis, wissenschaftlichen Austausch und technologische Innovationen – und überzeugt dabei nicht nur durch ihre Aussteller, sondern auch durch ein umfangreiches und hochwertiges Rahmenprogramm. Mit zwei begleitenden Kongressen sowie einem hochkarätig besetzten Fachforum, unter anderem auch mit moderierten Themenbereichen, bietet die Messe eine ideale Plattform für Wissenstransfer, Networking und zukunftsweisende Impulse.

Im offenen Fachforum erhalten Besucher an allen drei Messetagen kompakte Einblicke in neue Produkte, Entwicklungen und Anwendungen – direkt aus erster Hand und kostenfrei. Die Vorträge bieten „Know-how to go“ und machen das Forum zu einer zentralen Kommunikationsplattform mitten im Messegesehen.

Ein besonderes Highlight ist der erste Messetag: Hier findet um 12 Uhr die Vorstellung der nominierten Innovationen des 26. AMA Innovationspreises statt. Im Anschluss folgt ein hochkarätig besetztes Expertenforum zum Thema „KI-gestützte Messtechnik und Sensorik – Intelligente Systeme zwischen Innovation, Verantwortung und Praxis“.



**Die Sensor+Test in Nürnberg bietet Herstellern und Fachbesuchern eine Bühne für Innovationen, Fachgespräche und Networking.**

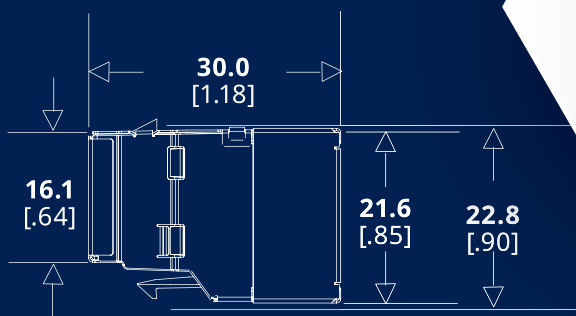
Bild: AMA Service GmbH

# Panduit RJ45- Keystone-Modul

Kompakt.

Leistungsstark.

Zukunftssicher.



**Extra kurz.** Nur 30 mm Einbautiefe – passt auch da, wo andere scheitern.

**Flexibler.** Kompatibel mit allen gängigen Keystone-Trägersystemen.

**Leistungsstark.** Cat 6a-tauglich für Datenraten bis 10 Gbit/s – EMV-sicher und PoE-geeignet.

**PANDUIT**<sup>™</sup>





# KI = KLUGE INGENIEURSKUNST

Noch arbeitet KI oft im Hintergrund – doch bald soll sie zum aktiven Partner im Engineering werden.

Andreas Furs, Head of Professional Services bei Var Industries, erläutert, wie intelligente Vernetzung von Daten und Systemen Produktentstehungsprozesse revolutioniert und Ingenieuren mehr Raum für Innovationen verschafft.

**?** Digital Engineering Magazin (DEM): Herr Furs, welche Rolle spielt künstliche Intelligenz bereits heute im Engineering-Umfeld?

**▶ ANDREAS FURS:** Ich würde die Frage anders stellen, mehr in die Richtung, welche Rolle die KI spielen wird. Aktuell kommt künstliche Intelligenz meist für administrative Routineaufgaben zum Einsatz, auch schon als konzeptionelle Unterstützung in frühen Entwurfsphasen – konkret durch den Einsatz von LLMs. Was aber passiert morgen? Noch fehlt die durchgängige Einbindung der KI in die Prozesslandschaft. Dies ist ein Manko, KI muss in die Systemwelt integriert werden, anstatt sie zu isolieren.

**?** DEM: Wo sehen Sie im MCAD-Bereich die größten Potenziale für KI?

**▶ FURS:** Genau da schließt sich das an, was ich gerade gesagt habe: In einem CAD-System sind bereits KI-Funktionen wie Sprachsteuerung, automatische Geometrieanalysen und Fehlerprüfungen vorhanden – nur iso-

liert als Insellösung. Der Mehrwert entsteht zwischen den Systemen, also wenn künstliche Intelligenz Materialdaten, Lagerbestände, Fertigungsrestriktionen oder frühere Projekte automatisch einbindet – dann wird sie zum konstruktiven Partner und Berater, der Informationen liefert, bevor die Frage entsteht. Und der Konstrukteur arbeitet effizienter mit weniger Abhängigkeiten, beispielsweise mit automatischer Feature-Erkennung in CAD-Modellen. Auf der ECAD-Seite nutzt der Designer KI-basierte Bauteilplatzierung und Variantenvergleich sowie eine smarte Kabelbaum-Generierung.

**?** DEM: Wie kann KI innerhalb von PLM-Systemen dazu beitragen, Daten intelligenter zu verknüpfen, Wissen wiederzuverwenden und Entscheidungsprozesse zu beschleunigen?

**▶ FURS:** Hier wartet der größte Potenzialhebel: Noch funktioniert der Produktentstehungsprozess über starre Schnittstellen, die

**▶ AUS STRATEGISCHER SICHT GILT ES, KI IN DIE SYSTEMARCHITEKTUR DES UNTERNEHMENS ZU INTEGRIEREN, SODASS SYSTEMINTELLIGENZ ENTSTEHT.«**

die Systeme wie ERP, PDM, CAD, CAM und CAE miteinander verlässlich – aber eben begrenzt – verbinden. Mit KI verändert sich das Paradigma, denn statt Daten über Leitungen zu schieben, interpretiert künstliche Intelligenz die Informationen. Ich habe es meiner Kollegin Franziska Kallenberg so erklärt: Wenn ein Modell gleichzeitig mit ERP, Stücklisten, PDM-Status und CAD-Geometrie verbunden ist, erkennt KI Konflikte in Echtzeit – und nicht erst im Review. So entstehen dynamische Prozesse, die sich selbst prüfen und optimieren. Der Anwender kann automatisiert-generierte

Stücklisten erstellen lassen sowie ein Predictive Change-Management angehen.

**? DEM: Welche konkreten Hebel bietet KI, um Produktentstehungsprozesse effizienter, transparenter oder robuster zu gestalten?**

**☑ FURS:** Nun, mit KI zu entwickeln bedeutet heute, in Teilprozessen schneller oder fehlerfreier zu werden. Aus strategischer Sicht gilt es, die künstliche Intelligenz in die Systemarchitektur des Unternehmens zu integrieren, sodass Systemintelligenz entsteht. Kommuniziert KI mit ERP, PDM, CAD, CAM und allen weiteren Engineering-Lösungen, entsteht eine Datenbasis, die Muster, Risiken und Abhängigkeiten erkennt und auch aus Nutzerverhalten und Entscheidungen lernt. Alle profitieren davon, müssen aber auch die Kunst begreifen, KI richtig einzusetzen.

**? DEM: KI steht und fällt mit der Datenbasis. Wie müssen Konstruktionsdaten strukturiert und gepflegt sein, damit KI-Anwendungen zuverlässig damit arbeiten können?**

**☑ FURS:** Kennen Sie den Spruch, 'Shit in – shit out'? Die Datenbasis ist schon immer entscheidend und bezogen auf KI verschieben sich nun die Anforderungen. Während früher jedes Bauteil sauber klassifiziert sein musste, erkennt KI die Bauteile anhand von Geometrie, Kontext und Historie – und ergänzt fehlende Metadaten selbst. Gute Datenpflege bleibt wichtig, aber künstliche Intelligenz schließt Lücken aktiv und verbessert die Datenqualität kontinuierlich.

**? DEM: Wo sehen Sie die Grenze zwischen sinnvoller Automatisierung durch KI und der unverzichtbaren Expertise erfahrener Ingenieurinnen und Ingenieure?**

**☑ FURS:** Es gibt drei Phasen: Kurzfristig ist KI ein Assistenzsystem. Mittelfristig übernimmt sie Routinen und langfristig wird sie Entscheidungen vorbereiten – und teilweise selbst treffen. Und die Rolle des Ingenieurs passt sich dem Wandel an: Mit KI wird es mehr Freiraum geben, für das, was wirklich zählt: Innovation, Entwicklung und prozessorientiertes Denken. Ingenieurskompetenz wird nicht ersetzt – sie wird fokussiert.

**» MIT KI WIRD ES MEHR FREIRAUM GEBEN, FÜR DAS, WAS WIRKLICH ZÄHLT: INNOVATION, ENTWICKLUNG UND PROZESSORIENTIERTES DENKEN.«**

**? DEM: Viele Unternehmen arbeiten mit etablierten CAD- und PLM-Systemen. Wie lässt sich KI sinnvoll in bestehende IT-Architekturen integrieren?**

**☑ FURS:** Meiner Meinung nach muss man zwischen gewachsenen und neuen Architekturen unterscheiden. In bestehenden Systemlandschaften ersetzt KI keine Schnittstellen – aber sie macht sie smarter. Konkret: Fällt eine Datenübertragung aus, kann künstliche Intelligenz Logdateien in Sekunden auswerten und die wahrscheinlichste Ursache nennen, statt nur einen Fehlercode auszugeben. In neuen Architekturen ist das Potenzial größer, denn KI kann von Beginn an disziplinübergreifend in Mechanik, Elektronik und Simulation eingebunden werden – und Fehler oder Potenziale erkennen, bevor sie sich in nachgelagerten Prozessen



Andreas Furs diskutiert mit seiner Sales-Kollegin Franziska Kallenberg über die KI-Vorzüge beim Anwender.

Bild: Var Industries

auswirken. Das führt zu echten parallelen Entwicklungsprozessen.

**? DEM: Lassen Sie uns zum Schluss noch in die Zukunft blicken: Wie wird sich die tägliche Arbeit von Konstrukteuren und PLM-Verantwortlichen durch KI verändern?**

**☑ FURS:** KI verändert den Alltag von Konstrukteuren, Designern und Ingenieuren – weg von repetitiven Tätigkeiten und mehr hin zu höherwertiger Systemarchitektur, Validierung, Kreativität und Entscheidungsarbeit. Interessant ist es, dass wir uns in unseren Projekten verstärkt zum Integrationsexperten für den Digital Thread sowie zum Enabler für KI-gestützte Engineering-Rollen entwickeln, wobei wir mit den Anwendern diese Stärken reflektieren und projektieren. Sprich, das Daten-Engineering des Kunden so begleiten, dass KI und Services verstärkt deren Alltag prägen. Es entsteht die nächste Generation der Produktentstehung – inklusive allen Gestaltungsmöglichkeiten, die uns künstliche Intelligenz bieten wird.

**? DEM: Herr Furs, vielen Dank für das Gespräch.**

Die Fragen stellte Rainer Trummer.



**ANDREAS FURS** ist Head of Professional Services bei Var Industries.

Bild: Var Industries

Die strategische Beschaffung versteht sich zunehmend als Navigator des Unternehmens in einem volatilen Umfeld.



# WIE DER EINKAUF REIF WIRD FÜR PREDICTIVE AI

Resilienz ist die neue Kernkompetenz in der Beschaffung. Predictive AI gilt dabei als Schlüsseltechnologie, um Risiken frühzeitig zu erkennen. Doch Technologie ist kein Selbstzweck: Erst wenn intelligente Tools konkrete operative Probleme lösen und eine valide Datenbasis schaffen, entfaltet KI ihre volle Wirkung. » VON BRUNO PAUZE

**S**pätestens seit den globalen Lieferkrisen der letzten Jahre ist klar: Wer sich allein am Preis orientiert, riskiert seine Lieferfähigkeit. Ein billiges Bauteil wird kostspielig, wenn es nicht ankommt und die Produktion stoppt. Dass Resilienz wichtiger ist als der letzte Cent, hat der Einkauf seit 2020 gelernt. Doch während das Ziel seitdem feststeht, verändern sich die Mittel laufend: Predictive AI gibt dem Streben nach Sicherheit eine neue Qualität. Sie verändert die Beschaffung grundlegend, weil sie es erlaubt, auf Risiken nicht bloß zu reagieren, sondern sie aktiv vorherzusagen und Lieferketten rechtzeitig anzupassen.

Die Herausforderung: In der Praxis stehen Beschaffungsteams oft vor einer fragmentierten Datenlandschaft. Ein Widerspruch

zur strategischen Ambition. Laut einer Umfrage von Amazon Business setzen rund zwei Drittel der deutschen Einkaufsentscheider (65 Prozent) auf Datenanalysen, um bessere strategische Entscheidungen zu treffen. Die Lösung liegt daher in der „goldenen Mitte“: Der Einsatz von KI muss dort ansetzen, wo er heute schon greifbare Sicherheit schafft – bei der Transparenz, der Prozess-Effizienz und der schnellen Reaktion auf Marktveränderungen.

**SPÄTESTENS SEIT DEN GLOBALEN LIEFERKRISEN DER LETZTEN JAHRE IST KLAR: WER SICH ALLEIN AM PREIS ORIENTIERT, RISKIERT SEINE LIEFERFÄHIGKEIT.**

## Vom reaktiven Einkauf zum proaktiven Risikomanagement

Eine der bedeutendsten Chancen, die KI im Beschaffungswesen aktuell bietet, ist ihr Potenzial im Risikomanagement. In Zeiten ständig unterbrochener Lieferketten sehen sich Teams häufig mit einer unregelmäßigen Verfügbarkeit von Produkten konfrontiert. Hier ermöglichen KI-Tools einen Paradigmenwechsel: Statt reaktiv auf Störungen zu reagieren, wird die Beschaffung in die Lage versetzt, Risiken frühzeitig zu erkennen und ihnen aktiv vorzubeugen.

Moderne Systeme erkennen Muster, die auf eine sich abzeichnende Lieferknappheit und lange Lieferzeiten hindeuten. Statt auf den Engpass zu warten, empfehlen sie Geschäftskunden automatisch Produktalternativen. Dieser Mechanismus minimiert



**DAMIT KI STRATEGISCH WIRKEN KANN, MUSS SIE DEN EINKAUF IM TAGESGESCHÄFT ENTLASTEN UND „VERSTECKTE“ DATEN NUTZBAR MACHEN.**

scheidend zur Schaffung von Transparenz im Einkauf bei und ermöglicht eine flexible Anpassung der Einkaufsprozesse an die spezifischen Anforderungen jedes Unternehmens und jeder Nutzergruppe, was die Einhaltung von Vorschriften erleichtert.

Parallel dazu übernehmen Monitoring Tools eine wichtige Wächter-Funktion. Sie automatisieren die Ausgabenüberwachung, erkennen ungewöhnliches Kaufverhalten in Echtzeit und senden KI-gestützte Warnmeldungen. Unterstützt wird dies durch automatisierte Richtlinien, die das Bestellverhalten standardisieren und Compliance sichern. Assistenzsysteme wie der Amazon Business Assistant runden das Bild ab, indem sie zeitaufwändige manuelle Aufgaben bei der Produktsuche und dem Vergleich eliminieren und Nutzern kontextbezogene Vorschläge machen.

Eine solche digitale Beschaffung bietet Unternehmen Echtzeit-Einblicke, die früher mühsam in Excel-Tabellen zusammengesucht werden mussten. Das Ergebnis ist eine valide Datenbasis – das Fundament für künftige Predictive-Modelle.

**Die organisatorische Dimension: Datengestützte Urteilskraft**

Doch intelligente Beschaffung erfordert auch einen Kulturwandel. Es geht darum, Datenqualität als strategischen Vorteil zu verstehen. Wenn KI-Tools administrative Lasten abnehmen, wandelt sich das Rollenprofil

des Einkäufers. Er wird zum strategischen Partner innerhalb des Unternehmens.

Die Fähigkeit, von der KI aufbereitete Szenarien zu bewerten, wird ebenso wichtig wie das klassische Verhandlungsgeschick. Predictive AI ersetzt nicht die unternehmerische Intuition, sondern fundiert sie durch Daten. In einem Umfeld, in dem Fehlentscheidungen weitreichende Konsequenzen haben, liefert die Technologie die notwendige Sicherheit.

**Die Beschaffung als Navigator**

Die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie wird künftig stärker davon abhängen, wie effizient technologische Intelligenz in operative Stabilität übersetzt wird. Predictive AI ist hierbei kein fernes Zukunftsszenario, doch der Hebel liegt in der Anwendung: Durch die Integration intelligenter Modelle in

**DIE FÄHIGKEIT, VON DER KI AUFBEREITETE SZENARIEN ZU BEWERTEN, WIRD EBENSO WICHTIG WIE DAS KLASSISCHE VERHANDLUNGSGESCHICK.**

ein digitales Ökosystem gelingt der Wechsel von einer reaktiven Krisenbewältigung hin zu einer proaktiven Gestaltung der Lieferfähigkeit. Die strategische Beschaffung versteht sich zunehmend als Navigator des Unternehmens in einem volatilen Umfeld. Am Ende sichert nicht der niedrigste Preis den Erfolg, sondern die Fähigkeit, Risiken durch smarte Datenanalysen frühzeitig zu erkennen und entsprechend fundiert zu handeln. « TB

**Bruno Pauze** ist Country Manager von Amazon Business Deutschland.

Lieferunterbrechungen, bevor sie überhaupt spürbar werden. Der daraus resultierende Zeitgewinn verschafft den entscheidenden Vorteil, um Bestände zu sichern, bevor keine Ware mehr verfügbar ist. Das sichert den reibungslosen Betrieb und verbessert die Erfahrung für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erheblich, die nicht wochenlang auf Arbeitsmittel warten müssen.

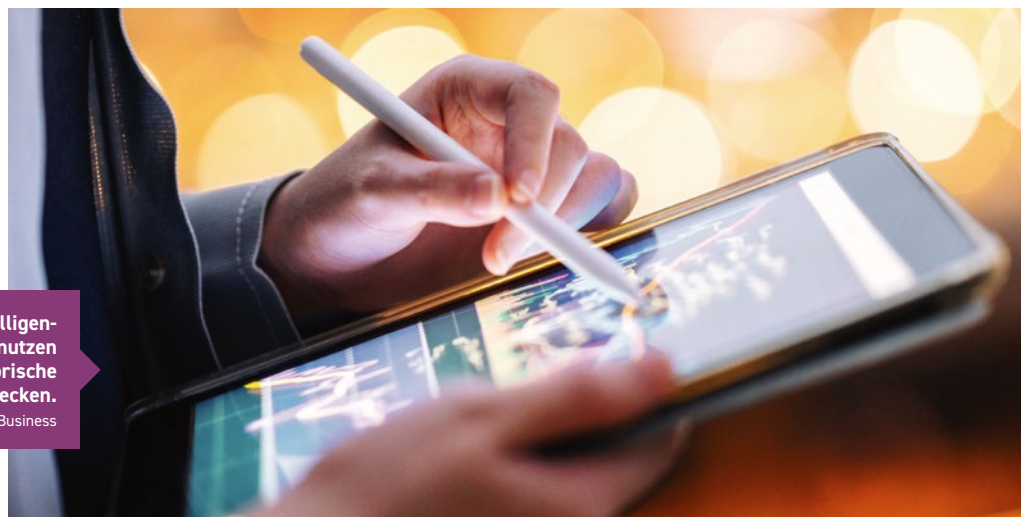
**Smarte Tools für strategische Kontrolle**

Damit KI strategisch wirken kann, muss sie den Einkauf im Tagesgeschäft entlasten und „versteckte“ Daten nutzbar machen. Wer seinen Bedarf über digitale Lösungen bündelt, profitiert heute schon von konkreten Anwendungen, die weit über reine Automatisierung hinausgehen.

Funktionen zur intelligenten Kostenkontrolle nutzen generative KI, um historische Ausgabentrends aufzudecken. Sie identifizieren proaktiv Möglichkeiten zur Kosteneinsparung, etwa durch das Aufzeigen ungenutzter Mengenrabatte. Darüber hinaus trägt die Zusammenarbeit mit Amazon Business ent-

Funktionen zur intelligenten Kostenkontrolle nutzen generative KI, um historische Ausgabentrends aufzudecken.

Bilder: Amazon Business



# DIGITALE ZWILLINGE FÜR BESSERE ENTSCHEIDUNGEN

Wer dem Tempo der digitalen Transformation nicht standhält, setzt langfristig seine Wettbewerbsfähigkeit aufs Spiel. Im Bewusstsein der Unternehmen ist das längst angekommen. Was hingegen oft fehlt: Wissen, wie Entwicklung und Absicherung im Betrieb digital neu gedacht werden können. Um steigender Komplexität, kürzeren Entwicklungszyklen und einer hohen Änderungsdynamik gerecht zu werden, gewinnen digitale Zwillinge zunehmend an Bedeutung. » VON DOMINIK NÖTH

**B**eim digitalen Zwilling geht es um weit mehr als ein sichtbares 3D-Modell. Kern ist ein digitales, daten- und modellbasiertes Abbild eines realen Systems samt relevanten Zuständen, Zusammenhängen und Wechselwirkungen. Sein Nutzen entsteht dort, wo Entwicklungsdaten, Simulationen, Zustandsinformationen und Betriebsdaten zusammengeführt und in Beziehung gesetzt werden. Dadurch bildet er nicht nur die äußere Form eines Systems ab, sondern dessen Verhalten, Wechselwirkungen und Entwicklung über die Zeit. Genau dieses Zusammenspiel macht den digitalen Zwilling wertvoll: Er schafft Kontext, erhöht die Nachvollziehbarkeit und unterstützt fundierte Entscheidungen über den gesamten Lebenszyklus hinweg.

## Der Nutzen des digitalen Zwillings im Produktlebenszyklus

Ein besonders großer Nutzen entsteht in frühen Phasen der Entwicklung. Daten können hier aus simulierten Sensoren in simulierten Umgebungen stammen, noch bevor reale Hardware überhaupt verfügbar ist. Genau das eröffnet neue Möglichkeiten. Beispiels-

**EIN BESONDERS GROSSER NUTZEN ENTSTEHT IN FRÜHEN PHASEN DER ENTWICKLUNG. DATEN KÖNNEN HIER AUS SIMULIERTEN SENSOREN IN SIMULIERTEN UMGEBUNGEN STAMMEN, NOCH BEVOR REALE HARDWARE ÜBERHAUPT VERFÜGBAR IST.**

weise lassen sich Sensoren frühzeitig auf Tauglichkeit prüfen, Anwendungsfälle können virtuell abgesichert und Varianten miteinander verglichen werden, ohne dass bereits eine endgültige Festlegung auf konkrete Hardware erfolgen muss. Entwicklungsentscheidungen werden dadurch früher, fundierter und mit geringerem Risiko getroffen.

Dieser Ansatz passt zu modernen Entwicklungsprinzipien wie dem Shift Left, modellbasierten Methoden und Virtualisierung. Bewertung und Absicherung werden dabei bewusst in frühe Phasen des Entwicklungsprozesses verlagert. Fehler oder ungeeignete Auslegungen können dadurch früher erkannt werden, was nicht nur Zeit spart, sondern auch die Qualität der Entwicklung verbessert. Der digitale Zwilling wird so zu einem Werkzeug, mit dem sich Komplexität beherrschbarer machen lässt.

## Mehr Sicherheit bei Inbetriebnahme und Betrieb

Der Mehrwert geht weit über die Entwicklung hinaus: Auch bei der Inbetriebnahme können digitale Zwillinge erhebliche Vorteile schaffen. Gerade bei komplexem Variantenmanagement helfen sie dabei, Konfigurationen zu prüfen und Systeme gegenüber definierten Anforderungen abzugleichen. Ebenso können Prüfungen im End-of-Line-Umfeld unterstützt werden, um sicherzustellen, dass Konfigurationen und Funktionen konsistent umgesetzt wurden. Was zuvor virtuell vorbereitet und bewertet wurde,

Vom virtuellen Modell zum realen Produkt: Der Abgleich zwischen digitalem Zwilling und physischer Komponente ermöglicht fundierte Validierung bereits vor der Seriumsetzung.



lässt sich damit in spätere Phasen des Lebenszyklus überführen. Im laufenden Betrieb erweitert sich dieser Vorteil nochmals. Reale Zustands- und Betriebsdaten können mit den Modellen und Erwartungen aus Entwicklung und Simulation abgeglichen werden. So lassen sich Abweichungen erkennen, Alterungserscheinungen besser bewerten und mögliche Ausfälle frühzeitig identifizieren. Der digitale Zwilling schafft damit eine Grundlage für vorausschauendes Handeln, für gezieltere Wartung und für ein besseres Verständnis des Systemverhaltens über längere Zeiträume hinweg.

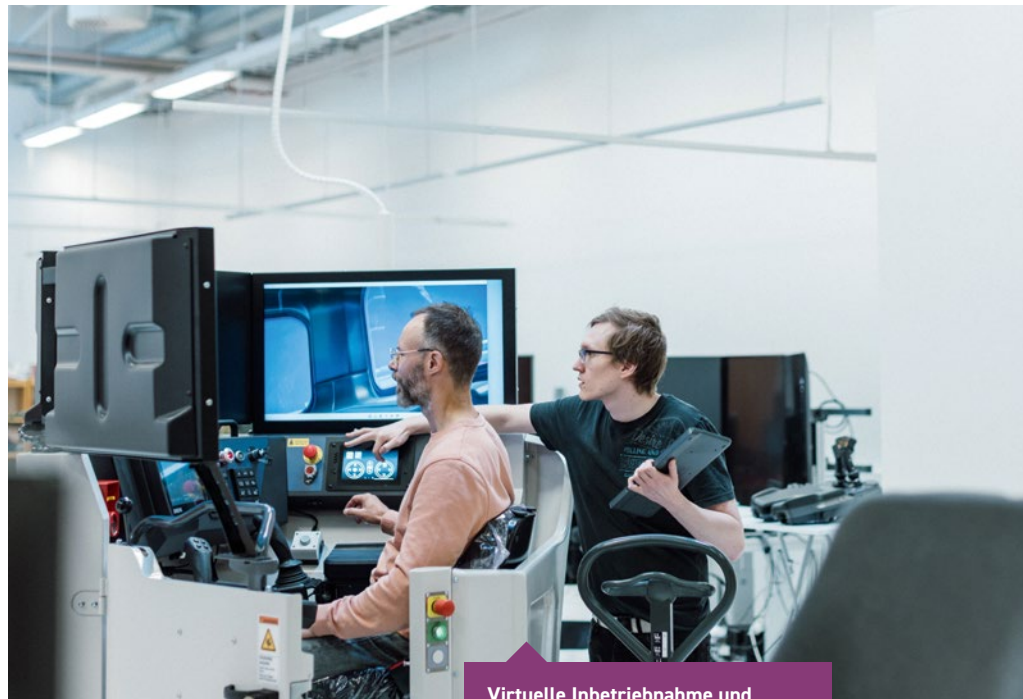
### Warum steigende Dynamik und Komplexität den Einsatz vorantreiben

Gerade vor dem Hintergrund des kontinuierlichen Wandels in Märkten und Technologien wird dieser ganzheitliche Ansatz immer wichtiger. Maschinen und Produkte werden komplexer, Softwareanteile steigen, Innovationszyklen werden kürzer und Änderungen müssen in immer kürzerer Zeit bewertet werden. Klassische, stark sequentielle Entwicklungsansätze stoßen dabei zunehmend an ihre Grenzen. Unternehmen benötigen neue Wege, um Entwicklung effizienter, robuster und flexibler zu gestalten. Digitale Zwillinge sind deshalb heute weit mehr als ein Buzzword.

Bei richtiger Umsetzung sind sie ein realer Hebel zur Verbesserung von Entwicklungs- und Betriebsprozessen. Kontextualisierung spielt eine entscheidende Rolle, damit digitale Zwillinge tatsächlich nutzen Stiften. Dabei genügt es nicht, einfach nur neue Tools oder Messgeräte einzuführen, entscheidend ist, relevante Daten gezielt zu erfassen und in einen sinnvollen Zusammenhang zu bringen. Nicht die größtmögliche Datenmenge ist das Ziel, sondern die Verfügbarkeit derjenigen

#### 5-PUNKTE-CHECK: EINSATZ DIGITALER ZWILLINGE

- Wir haben geeignete Modelle des Systems aufgebaut.
- Wir können relevante Daten erfassen, auswerten und ableiten.
- Wir können Entwicklungs-, Simulations- und Betriebsdaten miteinander verknüpfen.
- Wir können Systemverhalten virtuell analysieren und bewerten.
- Wir können Erkenntnisse aus den Daten in die Entwicklung zurückführen.



**Virtuelle Inbetriebnahme und Absicherung: Digitale Zwillinge unterstützen bei der Prüfung von Funktionen und Konfigurationen komplexer Systeme noch vor dem realen Einsatz.**

Bilder: Gofore

### DER DIGITALE ZWILLING IST DAMIT WEIT MEHR ALS EIN DIGITALES ABBILD. SEIN EIGENTLICHER WERT LIEGT IN DER INTELLIGENTEN VERKNÜPFUNG VON DATEN, MODELLEN UND KONTEXT ÜBER DEN GESAMTEN LEBENSZYKLUS HINWEG.

Informationen, die für konkrete Fragestellungen benötigt werden. Ebenso wichtig ist es, Modelle, Entwicklungsartefakte, Simulationsdaten und spätere Betriebsdaten so zu verknüpfen, dass daraus ein konsistentes Gesamtbild entsteht.

#### Früher Nutzen durch konsequente Strategie

Darüber hinaus erfordert der Aufbau digitaler Zwillinge auch organisatorische und methodische Veränderungen. Bestehende Vorgehensweisen müssen weiterentwickelt, Schnittstellen zwischen Disziplinen verbessert und neue Kompetenzen aufgebaut werden. Das bedeutet zunächst Investitionen: in Werkzeuge, Lizenzen, Integration und in die Weiterentwicklung der Skillsets von Mitarbeitenden. Diese Aufwände sind real und sollten nicht unterschätzt werden. Gleichzeitig verschiebt sich bei einer tragfähigen Strategie der Nutzen früher in den Entwicklungsprozess. Entscheidungen können früher abgesichert, Fehler früher erkannt und Iterationen effizienter gestaltet werden. Dadurch kann sich auch der wirtschaftliche Effekt früher abzeichnen. Hinzu kommt ein

weiterer Aspekt: Unternehmen schaffen mit digitalen Zwillingen nicht nur Effizienzgewinne im Hier und Jetzt, sondern stärken auch ihre Zukunftsfähigkeit. Entwicklungsprozesse werden nachhaltiger aufgestellt, Produktlebenszyklen besser unterstützt und Wissen systematischer nutzbar gemacht. Gerade in einem Umfeld, in dem Produkte und Systeme zunehmend über viele Jahre weiterentwickelt und angepasst werden, ist das ein wesentlicher Vorteil. Ein idealer Einstiegspunkt bietet sich häufig bei Neuentwicklungen oder Umstrukturierungen, die diese Themen von Beginn an berücksichtigen können.

Der digitale Zwilling ist damit weit mehr als ein digitales Abbild. Sein eigentlicher Wert liegt in der intelligenten Verknüpfung von Daten, Modellen und Kontext über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Nicht die Oberfläche macht ihn relevant, sondern seine Fähigkeit, Entwicklung, Bewertung, Inbetriebnahme und Betrieb wirksam zu unterstützen. Wer digitale Zwillinge so versteht und umsetzt, schafft nicht nur technologische Transparenz, sondern auch eine belastbare Grundlage für bessere Entscheidungen und langfristige Wettbewerbsfähigkeit. « TB

**Dominik Nöth** ist Leiter Intelligente Industrie bei Gofore.

# VIRTUELLES ROLLENSPIEL

Maschinen und Anlagen in einer Simulationsumgebung zu testen und zu implementieren, reduziert die Projektlaufzeiten, vermeidet Fehler und spart Kosten. Ein digitales Modell kann nicht nur bei der Inbetriebnahme hilfreich sein; erweitert zu einem digitalen Zwilling bietet es viele Vorteile – vom ersten Kundengespräch über die Projektierung bis zum Betrieb.

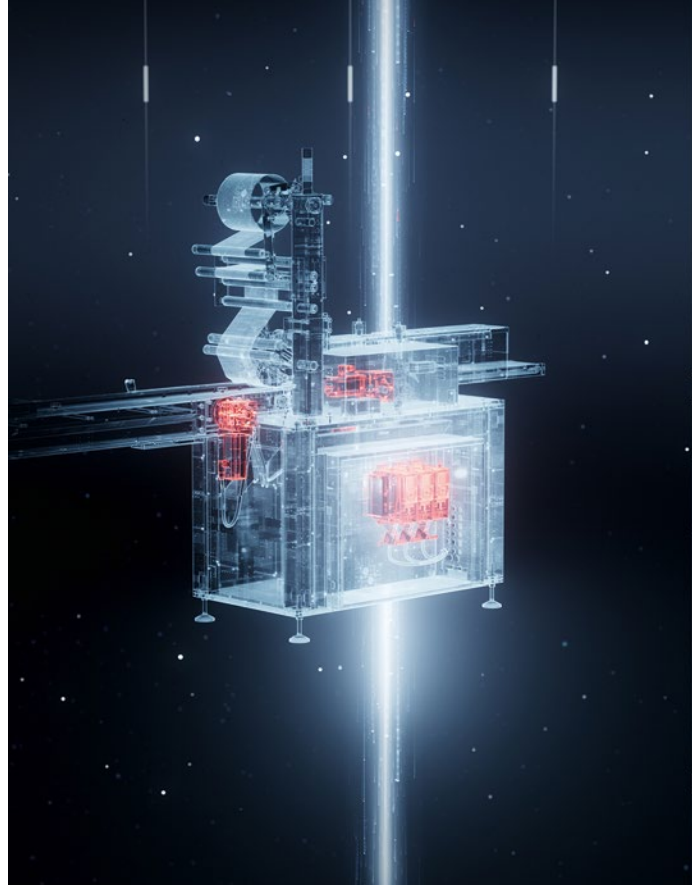
» VON HANS-JOACHIM MÜLLER

**D**ie virtuelle Inbetriebnahme ist ein Trendthema der Automatisierung. Ihre Grundidee ist es, eine Produktionsanlage bereits zu testen, wenn sich die reale Maschine noch im Aufbau befindet. So können in einer frühen Phase des Planungsprozesses Fehler vermieden und die Projektlaufzeit reduziert werden. Die virtuelle Inbetriebnahme ist allerdings nur eine Einsatzmöglichkeit eines digitalen Modells: Digitale Zwillinge bieten für alle Beteiligten im Planungsprozess Vorteile.

## Unterstützung in der Entwicklung

Die physische Simulation der Maschine unterstützt den Konstrukteur und die Programmiererin bei der Optimierung des Bewegungsablaufs. Dabei wird die Bewegung im Millisekunden-Takt berechnet und in gleichen Zeitabständen deterministisch ausgeführt. Die berechneten Positionen werden an das 3D-Modell übergeben, die Bewegung sichtbar gemacht. Hierbei wird deutlich, an welchen Stellen die Mechanik noch optimiert und welche Parameter im Programm gegebenenfalls verändert werden müssen.

Für diese Simulation werden die Prozessdaten von einem Test-PC über den Feldbus an den Controller UHX65A von SEW-Eurodrive



übermittelt, in den Movikit-Softwaremodulen verarbeitet und in Positionsdaten umgesetzt. Weil die Antriebselektronik noch nicht angeschlossen ist, laufen die Movikits im Simulationsmodus. Dabei simuliert der Controller die Bewegung so, als ob echte Antriebshardware angeschlossen wäre, und schickt die virtuellen Positionsdaten an die Software auf dem PC, um dem dreidimensionalen Modell Richtung und Weg zu weisen.

## STEUERUNGEN KÖNNEN ZWEI BETRIEBSSYSTEME PARALLEL AUSFÜHREN.

### Hilfe bei der Projektierung

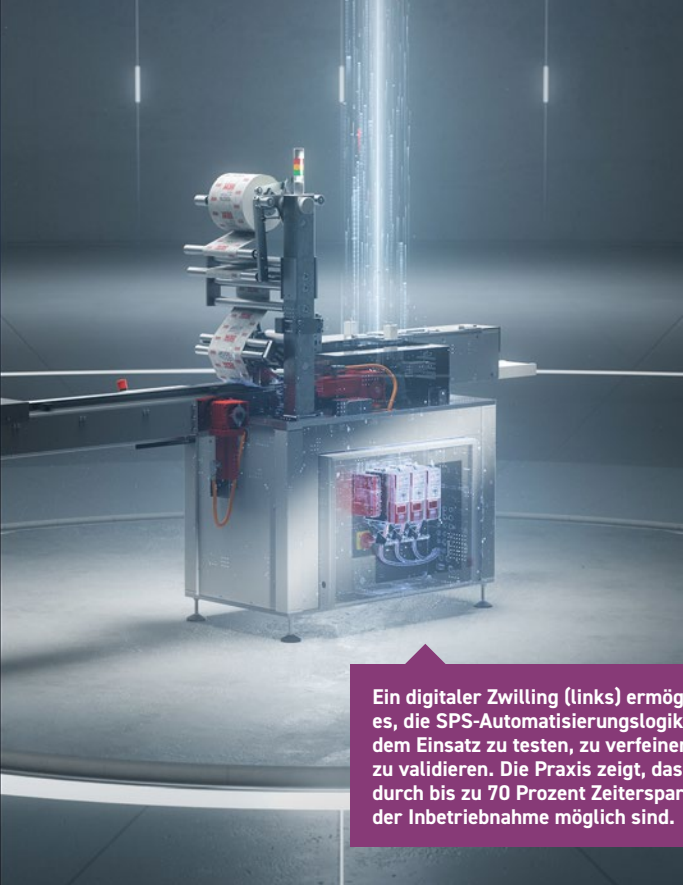
Ein digitales Modell unterstützt auch den Auswahlprozess der Antriebe. So können verschiedene Motor-Getriebe-Kombinationen untersucht werden, um die optimale Lösung zu ermitteln, ob ein hochdynamischer Servomotor, eine Wasserkühlung oder eine Kombination mit höherer Massenträgheit verwendet werden sollte. Dazu gehört auch die Frage, ob man einen Zwischenkreisverbund vorsehen sollte. Das Planungs- und Projektierungstool Workbench steht auf der Homepage des Unternehmens zum freien Download bereit. Es hat eine Datei-Import-Funktion für die Simulationsdaten. Drehmomente, Beschleunigung, Geschwindigkeit und Weg werden in Diagrammen dargestellt und fließen in die Antriebsauslegung ein. Für die energetische Auslegung, etwa die Verwendung von Energiespeichern im Zwischenkreis, stehen weitere Optionen zur Verfügung. Der Anbieter unterstützt bei der Optimierung dieser Auslegung. Um zu prüfen, ob die Antriebe in die Maschine passen, kann man CAD-Modelle aller Motoren, Getriebe und Elektronikkomponenten im Online-Support generieren und in verschiedenen 3D- und 2D-Formaten herunterladen.

### Hilfe bei der Programmierung

Den SPS-Programmierer interessiert, ob Prozessablauf und Bewegungen funktionieren: Kommen die Daten an, stimmt das Timing? Hierzu will er den Ablauf der Steuerung im Quellcode beobachten, während er Einblick in die Bewegungsfunktionen hat. Movikit-



Mit dem RobotMonitor lässt sich ein simulierter Roboterarm komfortabel am PC steuern und seine Bewegungen genau überprüfen.



Ein digitaler Zwilling (links) ermöglicht es, die SPS-Automatisierungslogik vor dem Einsatz zu testen, zu verfeinern und zu validieren. Die Praxis zeigt, dass dadurch bis zu 70 Prozent Zeitersparnis bei der Inbetriebnahme möglich sind.

Für die physische Simulation der Maschine werden vom Test-PC Prozessdaten an den Controller UHX65A übermittelt, in den Movikit-Softwaremodulen verarbeitet und in Positionsdaten umgesetzt. Der Controller simuliert die Bewegung, als ob echte Antriebshardware angeschlossen wäre.

Bilder: SEW-Eurodrive



ist das Team einsatzbereit und hat ein genaues Verständnis dafür, wie die Maschine auf Eingaben reagieren wird und welche Maßnahmen im Fehlerfall zu ergreifen sind. Die gesamte Unterweisung kann komplett ohne eine reale Maschine erfolgen.

Softwaremodule ermöglichen, ein- und ausgehende Feldbusdaten über eine grafische Oberfläche anzuzeigen. Damit lässt sich leicht überprüfen, ob alles korrekt umgesetzt wird, auch im Simulationsmodus. Daher kann man das SPS-Programm am Schreibtisch fertigstellen und testen, bevor es in die Antriebselektronik geladen wird. Sogar der simulierte Roboterarm lässt sich komfortabel mit dem RobotMonitor auf dem Bedienteil oder am PC steuern und die Bewegungen genau überprüfen. Weil alle Tests in einer vollständig simulierten Umgebung stattfinden, besteht kein Risiko, dass physische Geräte durch Fehler in der Steuerungssoftware während der Inbetriebnahme beschädigt werden.

### Vereinfachte Schulung

Zukünftige Maschinenbediener können zusammen mit den Entwicklern der Bedienoberfläche die Einrichtung und Bedienung der Anlage üben. Dazu ist die Maschine beispielsweise mit Touchdisplays ausgestattet, die über ein Ethernet-Kabel mit der Steuerung verbunden sind. Die Anordnung der Informationen und Schaltflächen auf den Displays entspricht exakt der späteren Anordnung an der Anlage; selbst die Bildschirmdiagonale ist identisch. Nach kurzer Zeit

## ZWEI PRAKTISCHE ANSÄTZE BEI DER SIMULATION

Zur Realisierung eines virtuellen Modells bietet SEW-Eurodrive zwei Ansätze: Kunden mit eigener Simulationsumgebung können über Movikit SimInterface alle erforderlichen Daten der Antriebselektronik an die Simulation übergeben. Anderenfalls bietet Movikit Simu3DMachine eine schnelle Möglichkeit, die Funktionen einer Maschine ohne komplexe Simulationssoftware abstrakt zu überprüfen. Welche Variante auch genutzt wird – Maschinenbedienern, Programmierern, Konstrukteuren und Endanwendern eröffnen sich völlig neue Möglichkeiten, ihre Projekte effizienter, schneller und ressourcenschonender zu planen und zu optimieren.

### Model Based Monitoring

Ein Prozesstechniker möchte vor dem Echtzeitbetrieb sicherstellen, dass seine Annahmen zur Maschine und dem Prozess korrekt sind. Hierfür hat er ein detailliertes Modell der Realität in seinem Simulationsprogramm erstellt. Es verarbeitet die eingehenden Prozessdaten und verhält sich so, wie es der Prozess mit den entsprechenden Parametern tun würde. Durch den Abgleich der realen Betriebsdaten mit vorher im Digitalmodell berechneten Daten, dem sogenannten Model Based Monitoring, kann man Fehler im Betrieb frühzeitig erkennen, und die Zahl defekter Teile verringert sich. Auch ein erhöhter Energiebedarf, etwa aufgrund von Maschinenverschleiß, lässt sich leicht erkennen.

**ECHTE PHYSIK-SIMULATIONEN IST OHNE ZUSÄTZLICHE HARDWARE MÖGLICH.**

### Performante Steuerungen

Eine wichtige Anforderung ist, dass der Prozess dabei auf keinen Fall gestört wird. Die Steuerungen UHX65A und UHX86A sind ausreichend performant, um zwei Betriebssysteme parallel auszuführen. Somit kann der Programmcode für die Prozess- und Bewegungssteuerung auf einem Echtzeitbetriebssystem laufen, während das Modell auf einem Windows-Betriebssystem ausgeführt wird. Die Daten der Steuerung werden verarbeitet, verglichen und über das Netzwerk auf einem externen Datenspeicher abgelegt. Weil durch die Simulation viele Prozesse parallel laufen, lässt sich die Entwicklung der Maschine deutlich verkürzen. Standardisierte Schnittstellen, Simulationsmodi und praktische Benutzeroberflächen befähigen die Nutzer zu vielen Arbeiten ohne die Hardware der Elektromechanik. Das innovative Hypervisor-Konzept der neuen Steuerungsgeneration UHX86A und UHX65A eröffnet weitere Anwendungsmöglichkeiten, auch während des Maschinenbetriebs. Die 3D-Simulation kann dabei unabhängig auf dem Windows-Betriebssystem ausgeführt werden, sodass ein Vergleich zur realen im Betrieb befindlichen Maschine möglich ist. Echte Physik-Simulationen mit dem digitalen Zwilling sind möglich, ohne dass zusätzliche Hardware in die Maschine eingebracht werden muss.

« KIS

Hans-Joachim Müller ist Marktmanager bei SEW-Eurodrive.

# „GLOBALER MARKTZUGANG BEGINNT IN DER ENTWICKLUNG“

Warum Produktzulassungen längst kein nachgelagerter Formalprozess mehr sind, sondern bereits in der Entwicklung über den Markterfolg entscheiden, erläutert Christian Latte, Head of Technical Compliance und Zulassungsbeauftragter bei der Hummel AG, im Interview. Das Unternehmen ist Spezialist für Verbindungstechnik und verfügt über umfassende Erfahrung in internationalen Zertifizierungsverfahren.

**?** Digital Engineering Magazin (DEM): Produktzulassungen gelten in vielen Unternehmen noch immer als notwendiges Übel. Sie vertreten die These, dass Zulassungen ein strategischer Wettbewerbsvorteil sein können. Wie ist das zu verstehen?

**☞ CHRISTIAN LATTE:** In der Praxis werden Zulassungsanforderungen häufig erst sehr spät im Entwicklungsprozess berücksichtigt. Oft erst, wenn ein Produkt konstruktiv bereits abgeschlossen ist. Das ist aus unserer Sicht ein zentraler Fehler. Produktzulassungen beeinflussen nicht nur formale Aspekte, sondern haben direkten Einfluss auf Konstruktion, Materialauswahl und die eingesetzte Verbindungstechnik. Wer regulatorische Vorgaben und technische Standards frühzeitig einbezieht, vermeidet aufwändige Nacharbeiten, reduziert Entwicklungsrisiken und verkürzt die Zeit bis zur Markteinführung. In diesem Sinne sind Zulassungen kein Hemmnis, sondern ein klarer Wettbewerbsvorteil.

**?** DEM: Welche Rolle spielt dabei der internationale Marktzugang?

**☞ LATTE:** Der internationale Marktzugang ist heute deutlich komplexer als noch vor einigen Jahren. Neben regulatorischen Vorgaben sind unterschiedliche technische Normen, rechtliche Rahmenbedingungen und

## » DER INTERNATIONALE MARKTZUGANG IST HEUTE DEUTLICH KOMPLEXER ALS NOCH VOR EINIGEN JAHREN.«

nationale Zertifizierungsprogramme zu berücksichtigen. Märkte wie Europa, Nordamerika oder Asien stellen sehr unterschiedliche Anforderungen an Produkte und deren Komponenten. Werden diese Unterschiede unterschätzt, kann das zu erheblichen Verzögerungen oder sogar zum Ausschluss einzelner Märkte führen. Eine klar definierte Zulassungsstrategie ist deshalb eine wesentliche Voraussetzung für nachhaltiges internationales Wachstum.

**?** DEM: Sie sagen: Globaler Marktzugang beginnt nicht im Vertrieb, sondern in der Entwicklung. Was bedeutet das konkret für Konstrukteure und Entwickler?

**☞ LATTE:** Konstrukteure und Entwickler legen früh fest, welche Märkte mit einem Produkt bedient werden können. Die Auswahl von Komponenten mit begrenztem

oder fehlendem Zulassungsspektrum kann den Marktzugang erheblich einschränken. Umgekehrt ermöglichen Verbindungslösungen mit internationalen Zulassungen, etwa für Europa, Nordamerika und ausgewählte asiatische Märkte, eine deutlich höhere Flexibilität. Deshalb sollten Zielmärkte, relevante Normen und regulatorische Anforderungen bereits zu Beginn der Entwicklung definiert werden. Eine nachträgliche Anpassung ist meist deutlich aufwändiger.

**?** DEM: Welche internationalen Produktzulassungen sind aus Ihrer Sicht besonders relevant?

**☞ LATTE:** Das ist stark vom jeweiligen Zielmarkt abhängig. In Europa spielen unter anderem die CE-Kennzeichnung, UKCA für den britischen Markt sowie Zertifizierungen wie VDE oder DNV eine Rolle. Für den eurasischen Raum ist die EAC-Zertifizierung relevant, die je nach Produktkategorie unterschiedliche Programme umfasst. In Nordamerika sind UL- und CSA-Zulassungen maßgeblich, wobei zwischen Anwendungen in Ordinary Locations und Hazardous Locations unterschieden wird. In Asien kommen spezifische nationale Programme hinzu, etwa CCC in China oder KCs-Zertifizierungen in Südkorea. Entscheidend ist, diese Anforderungen nicht isoliert zu betrachten, sondern in eine übergreifende Zulassungsstrategie einzubetten.

**?** DEM: Das klingt nach erheblicher Komplexität. Wo sehen Sie die größten Herausforderungen für Hersteller?

**☞ LATTE:** Eine zentrale Herausforderung ist die Dynamik der regulatorischen Anforderungen. Normen und Zertifizierungsprogramme entwickeln sich kontinuierlich weiter, zudem unterscheiden sich Prüfverfahren, Kennzeichnungen und Dokumentationspflichten je nach Markt erheblich. Hinzu kommen re-



**CHRISTIAN LATTE**  
ist Head of Technical Compliance  
und Zulassungsbeauftragter  
(ZulB) bei der Hummel AG.

gionale Besonderheiten, etwa die Notwendigkeit lokaler Vertreter oder zusätzlicher Werksinspektionen. Ohne fundiertes technisches und regulatorisches Fachwissen kann dies schnell zu Fehlentscheidungen führen. Umso wichtiger ist es, frühzeitig Transparenz über relevante Anforderungen zu schaffen.

## UNTERNEHMEN SOLLTEN PRODUKTZULASSUNGEN ALS INTEGRALEN BESTANDTEIL IHRER PRODUKT- UND ENTWICKLUNGSSTRATEGIE VERSTEHEN.«

**DEM:** Welche Rolle übernimmt Hummel in diesem Kontext?

**LATTE:** Als Hersteller von Kabelverschraubungen und Rundsteckverbindern für unterschiedlichste Anwendungen beschäftigen wir uns seit vielen Jahren intensiv mit internationalen Produktzulassungen. Unsere Lösungen kommen unter anderem in industriellen Anwendungen, der Schifffahrt und in explosionsgefährdeten Bereichen zum Einsatz. Entsprechend hoch sind die

Anforderungen an Normenkonformität und Sicherheit. Dieses Wissen geben wir auch weiter, beispielsweise in Fachvorträgen und Webinaren, in denen wir Zulassungsstrategien, regionale Besonderheiten und aktuelle Entwicklungen beleuchten.

**DEM:** Ein weiterer Aspekt ist die Standardisierung. Reicht diese heute noch aus, um internationale Märkte zu bedienen?

**LATTE:** Internationale Standards, etwa auf Basis von IEC-Normen, sind eine wichtige Grundlage und erleichtern den Marktzugang erheblich. Sie ersetzen jedoch nicht die Berücksichtigung nationaler Anforderungen. Viele Länder bauen zwar auf internationalen Normen auf, ergänzen diese jedoch um eigene Zertifizierungsprogramme oder zusätzliche Prüfungen. Erfolgreicher globaler Marktzugang erfordert daher beides: ein solides Fundament aus internationalen Standards und ein detailliertes Verständnis der jeweiligen nationalen Regularien.

**DEM:** Was raten Sie Unternehmen, die ihre Wettbewerbsfähigkeit langfristig sichern möchten?



Normenkonforme Verbindungstechnik als Wettbewerbsfaktor: Kabelverschraubung von Hummel.

Bilder: Hummel

**LATTE:** Unternehmen sollten Produktzulassungen als integralen Bestandteil ihrer Produkt- und Entwicklungsstrategie verstehen. Eine frühzeitige Auseinandersetzung mit Zielmärkten, regulatorischen Vorgaben und technischen Standards erhöht die Planungssicherheit, reduziert Risiken und beschleunigt den Markteintritt. Angesichts zunehmender regulatorischer Komplexität ist eine proaktive Informationsbeschaffung heute wichtiger denn je.

**DEM:** Herr Latte, vielen Dank für das Gespräch.

## OFFLINE-PROGRAMMIERUNG: MIT DUALIS ZU MEHR PRODUKTIVITÄT IN DER ROBOTIK

In der modernen Fabrik sind Roboter unverzichtbar. Doch ihr tatsächliches Leistungspotenzial hängt maßgeblich davon ab, wie sie programmiert werden. Während viele Unternehmen noch auf klassische Verfahren setzen, zeigt sich zunehmend: Die Programmiermethode entscheidet über Effizienz, Auslastung und Wettbewerbsfähigkeit.

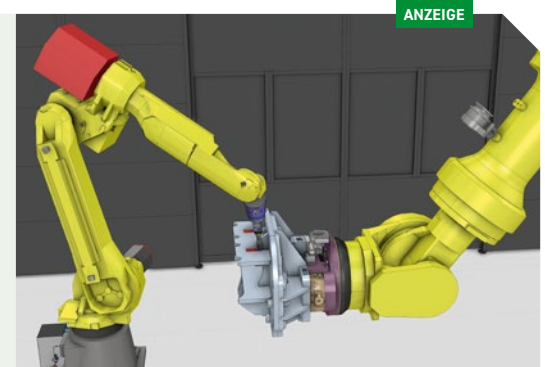
**TRADITIONELL ERFOLGT** die Programmierung von Robotern direkt an der Produktionszelle. Dies ist zeitaufwändig und führt zu Stillständen. Gerade bei komplexen Anwendungen oder häufigen Produktwechseln wird die Online-Programmierung schnell zum Engpass: Anlagen stehen still, Anpassungen dauern lange und Fehler werden oft erst im realen Betrieb sichtbar.

Die Offline-Programmierung (OLP) bietet hier einen entscheidenden Vorteil. Sie verlagert die Programmierung in eine virtuelle Umgebung. Bewegungsabläufe, Taktzeiten und Produktionsszenarien lassen sich simu-

lieren und optimieren, während die reale Fertigung weiterläuft. Kollisionen, Reichweiten oder Ineffizienzen werden früh erkannt und behoben. Das Ergebnis: reduzierte Stillstandzeiten, höhere Planungssicherheit und eine effizientere Inbetriebnahme. Unternehmen profitieren zudem von hoher Wiederverwendbarkeit einmal erstellter Programme, besonders bei ähnlichen Anlagen oder Varianten.

### OLP-Lösungen effizient integrieren

DUALIS unterstützt als Distributor von Visual Components dabei, OLP-Lösungen effizient



**Simulationsbasierte Offline-Programmierung von Roboterzellen einfach mit DUALIS realisieren.**

Bild: DUALIS GmbH IT Solution/Visual Components

zu integrieren: mit Workshops, Add-ons und User-freundlichen Oberflächen. Die OLP Suite ermöglicht den direkten Import von 3D-CAD-Modellen, deckt alle gängigen Roboterfabrikate ab und bietet über 18 integrierte Postprozessoren, 1-Klick-Programmierung sowie erweiterte Kalibrierungswerkzeuge. So lassen sich Roboterzellen schneller einrichten und Vorrichtungen, Werkzeuge und Abläufe virtuell testen und optimieren – ganz ohne Risiko für die reale Produktion.

**Mehr Informationen:**  
[www.dualis-it.de](http://www.dualis-it.de)

# SCHNELLERE WARTUNG DANK DIGITALER SCHALTPLÄNE

In der Produktion der Rotkäppchen Sektkellerei in Freyburg zählt Präzision. Auf zwei Linien werden täglich bis zu 600.000 Flaschen befüllt – Ausfälle dürfen kaum auftreten. Fehler müssen schnell lokalisiert und Stillstände minimiert werden. Da Anlagendokumente nur in Papier- und PDF-Form vorliegen, digitalisiert das Instandhaltungsteam mit der ECAD-Lösung von WSCAD sukzessive die Unterlagen und schafft die Basis für moderne, schnelle Instandhaltung. » VON THOMAS WALKER

Im Werk der Rotkäppchen Sektkellerei GmbH in Freyburg laufen die Abfüllanlagen nahezu im Dreischichtbetrieb. Zwei Linien befüllen täglich bis zu 600.000 Flaschen – präzise, automatisiert, und unter hohem Zeitdruck. Fällt eine Komponente aus, steht die Linie still. „Dann zählt jede Minute“, sagt Jan Wiemann, Werkstattleiter und seit über 20 Jahren bei Rotkäppchen. „Unser Ziel ist klar: den Betrieb so schnell wie möglich wieder zum Laufen zu bringen.“

Die Abfüllanlagen stammen von einem großen Anlagenhersteller, werden aber mit Komponenten zahlreicher Spezialausrüster ergänzt. So etwa Etikettiermaschinen, Verpackungsanlagen oder Maschinen zur Drahtbügelmontage. Das Ergebnis ist eine hochkomplexe Anlagenstruktur mit Schaltplänen von verschiedenen Lieferanten, meist in Form von Papier oder PDFs. Störungen entstehen sowohl mechanisch – etwa bei Etikettier- oder Verpackungseinheiten – als auch elektrisch, etwa durch defekte Sensoren, Fehler in der 24-V-Stromversorgung oder in elektro-pneumatischen Ventilen. Im Störfall müssen Wiemann und sein Team die betroffene Komponente schnellstmöglich identifizieren und den Fehler lokalisieren. Weil die dazugehörigen Pläne jedoch meist in Papierordnern oder PDF-Dateien vorliegen, bedeutet dies langes Suchen, Blättern und Abgleichen.

## Ordnerfrei zur vernetzten Instandhaltung

„Die Dokumentation ist unser größtes Nadelöhr“, so Wiemann. „Bis man im richtigen Plan ist, vergeht Zeit – und Stillstand ist teuer.“ Um den Instandhaltungsprozess zu beschleunigen, setzen Wiemann und sein Team in Freyburg Papier- oder PDF-Pläne in elektronische Pläne um. Dazu nutzen sie die E-CAD Software von WSCAD. Dieser Vorgang ist mühsam und zeitaufwendig, aber die Arbeit



zahlt sich aus. Schritt für Schritt werden bestehende Unterlagen digitalisiert. Wiemann beschreibt die Vorgehensweise pragmatisch: In den mit der Software erstellten Plänen lassen sich Komponenten eindeutig identifizieren, Querverweise anklicken und Artikelnummern direkt einsehen. Per Klick springt man auf die zugehörige Schaltplanseite oder in Pläne anderer Disziplinen der WSCAD-Lösung. „Statt in unzähligen Dokumenten

**DIE INSTANDHALTUNG IN DER ROTKÄPPCHEN SEKT-KELLEREI ZEIGT, WIE PRAGMATISCH DIGITALISIERUNG SEIN KANN: KEINE PILOTPROJEKTE, SONDERN GEZIELTE VERBESSERUNGEN ENTLANG REALER ENGPÄSSE.**

zu suchen genügt künftig ein Klick, um die exakte Schaltplanseite mit allen relevanten Informationen zu öffnen,“ erklärt Wiemann.

In diesen intelligenten PDFs können Instandhaltungsteams technische Daten, Herstellerinformationen oder Ersatzteilnummern direkt abrufen. Per Klick springt man auf die zugehörige Schaltplanseite oder in andere Funktionsbereiche des Systems – ein entscheidender Schritt hin zur digital vernetzten Instandhaltung.

## Cabinet Engineering: Schaltschränke selbst konstruieren

Neben der Digitalisierung der Bestandsunterlagen nutzt das Freyburger Team auch das Cabinet Engineering-Modul von WSCAD, um eigene kleinere Schaltschränke zu planen und zu bauen. Die großen Hauptschaltschränke werden zwar von den Maschinenherstellern geliefert, doch Anpassungen oder

Zusatzsteuerungen realisieren Wiemann und sein Team eigenständig.

Besonders an WSCAD gefallen Wiemann und seinem Team die einfache Handhabung der Software. Die Menüs sind sehr übersichtlich und die Oberfläche und Visualisierung modern.

Auch die vielen mitgelieferten Symbole und Artikeldaten der eingesetzten Ventilinseln, Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS), Schützen oder Motorschutzschalter sparen viel Zeit und sind eine große Hilfe. Und wenn mal ein Artikel nicht vorhanden ist? „WSCAD ist flexibel. Wir können einfach und schnell Symbole und Artikel selbst anlegen, wenn etwas fehlt. Das hält uns unabhängig und spart Zeit“, erklärt Wiemann. „Auch wenn das Nachzeichnen der Schaltpläne einen Aufwand darstellt, so

In der Rotkäppchen Sektellerei in Freyburg läuft die Produktion rund um die Uhr. Zwei Linien befüllen täglich bis zu 600.000 Flaschen – jede Minute Stillstand zählt.

an den Komponenten angebrachte QR-Labels genügt ein Scan mit dem Smartphone oder Tablet und die Techniker vor Ort haben sofort Zugriff auf alle relevanten Daten: die passende Schaltplanseite, Artikeldaten zur Komponente, original Herstellerdatenblätter und sogar einer 3D-Ansicht des Bauteils. So können Techniker schnell die Anschlüsse auf der Rückseite einer Komponente betrachten, ohne sie ausbauen zu müssen. Auch Ersatzteilanforderungen lassen sich direkt aus der App heraus anstoßen und Änderungen vor Ort werden über die Redlining-Funktion – das direkte Kommentieren und Markieren von Plänen und Dokumenten – in die Dokumentation zurück gespielt. Das Ergebnis ist ein gelebter und stets aktueller digitaler Zwilling, der jederzeit den realen Zustand der Anlage widerspiegelt.



Kommt es zum Stillstand, müssen defekte Komponenten schnell identifiziert und ersetzt werden – jede Verzögerung wirkt sich direkt auf den Produktionsfluss aus.

Bilder: Rotkäppchen

zeichnen und erstellt daraus den gewohnt intelligenten und verlinkten Schaltplan in WSCAD. Die dann erzeugte PDF-Dokumentation enthält die nützlichen intelligenten Sprungmarken auf andere Planseiten. Für Wiemann und sein Team bedeutet das: kein manuelles Nachzeichnen mehr. „Wir freuen uns auf den bevorstehenden Tag, an dem uns die KI das manuelle Nachzeichnen abnehmen wird. Damit sparen wir enorm viel Zeit – und genau die brauchen wir für die Optimierung unserer Anlagen und ganz besonders im Störfall.“

### Erhöhte Reaktionsfähigkeit statt Stillstand

Durch die Digitalisierung der Schaltpläne, den Einsatz der AR-App und die kommenden KI-Funktionen entsteht in Freyburg eine neue Form der vorausschauenden Instandhaltung. Stillstände können schneller behoben, Fehlerquellen gezielter analysiert und Komponenten einfacher ersetzt werden.

Die technische Dokumentation bleibt dabei immer aktuell – ein Vorteil, der im Produktionsalltag unmittelbar Wirkung zeigt. „Für uns zählt am Ende, dass die Linie läuft“, fasst Wiemann zusammen. „Mit WSCAD haben wir ein Werkzeug, das uns dabei hilft – schnell, einfach und zuverlässig.“

Fazit: Mit WSCAD Electrix, den AR- und kommenden KI-Funktionen entsteht ein System, das Wissen, Erfahrung und Technologie verbindet – und genau dann greift, wenn es darauf ankommt: bei Stillstand. **« TB**

**Thomas Walker** ist Redakteur bei Walkerbretting Corporate Publishing in Stuttgart.



Per Scan mit der Cabinet AR App von WSCAD erhalten Techniker vor Ort sofort Zugriff auf die zugehörigen Schaltplanseiten, Artikeldaten und Herstellerdatenblätter. Auch Ersatzteilanforderungen und Änderungen können direkt dokumentiert werden.

geht dies mit WSCAD doch sehr schnell und der anschließende Nutzen ist groß.“ Besonders lobt und hebt der Werkstattleiter die Unterstützung von Seiten WSCADs hervor: „Wann immer wir eine Frage haben, hilft uns der Vertrieb und Support von WSCAD unkompliziert und sofort weiter.“

### Vor Ort schneller mit der Cabinet AR App

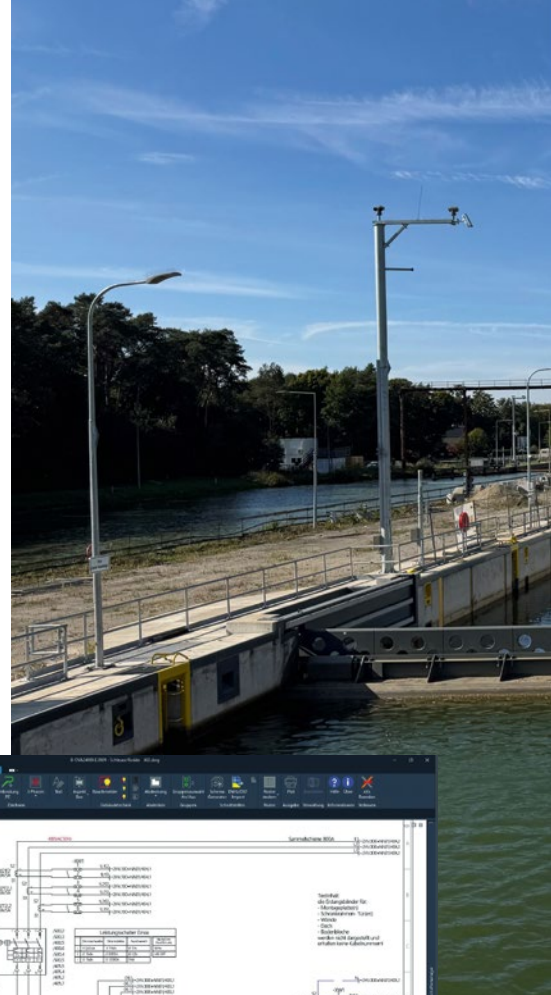
Besonders eindrucksvoll zeigt sich der Fortschritt am Beispiel der in der WSCAD-Lizenz enthaltenen Cabinet AR App für iOS- und Android-Systeme. Über zuvor gedruckte und

### PDF-, DWG- und Papierpläne mithilfe von KI einlesen

Einen großen Effizienzgewinn von unschätzbarem Wert verspricht der Einsatz von WSCAD Electrix AI. Die integrierte KI liest und analysiert PDF- und DWG-Daten sowie gescannte Schaltpläne, erkennt automatisch Symbole, Verbindungen und Gerätekenn-

# SCHIFFFAHRT MÖGLICH MACHEN

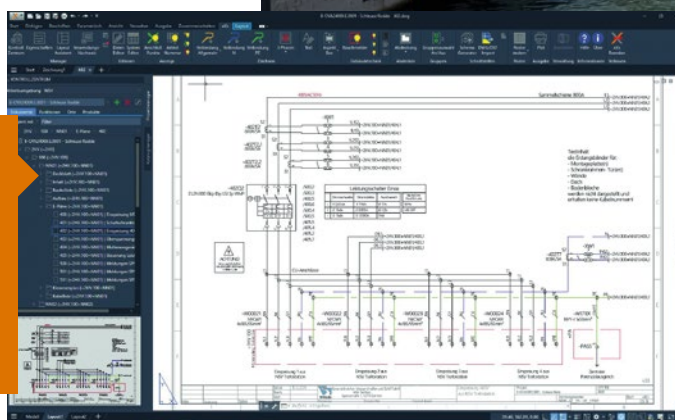
Ziel der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) war es, die Softwarelandschaft an den jeweiligen Standorten in Deutschland zu vereinheitlichen. Dazu gehörte auch die Software für die Elektroplanung der Schleusensteuerungen. Den Zuschlag bekam Mensch und Maschine (MuM) – erst für eccscad, dann für das moderne eXs. Neben der intuitiven Bedienung und dem Funktionsumfang beeindruckte besonders die zuverlässige Betreuung. » VON ROSWITHA MENKE



**N**ur, wenn Schiffe pünktlich und sicher ihr Ziel erreichen, haben wir unseren Job gemacht“, heißt es im Imagefilm der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV). Sie untersteht dem Bundesministerium für Verkehr (BMV) und gliedert sich in die Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS) mit Sitz in Bonn, die Wasserstraßen- und Schifffahrtsämter (WSA) sowie die Wasserstraßen-Neubauämter (WNA) in den Regionen. Zu den Aufgaben gehören Betrieb, Unterhaltung sowie Ausbau- und Ersatzmaßnahmen an den Bundeswasserstraßen und der dazugehörigen Anlagen wie Schleusen, Wehre, Sicherheitstore, Schiffshebewerke und Brücken.

Mit eXs schnell und sicher geplant: Ausschnitt der 400-Volt-Versorgung in der neuen Trafostation der Schleuse Rodde.

Bild: Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV)



## Mammutaufgabe: Schleusenbau

Bundesweit sorgen mehr als 300 Schleusen dafür, dass Schiffe Höhenunterschiede in Flussläufen und Kanälen sicher überwinden. Mittlerweile werden viele Schleusen von einer zentralen Leitstelle fernbedient – Schleusenwärter, die heute Schichtleiter heißen, sind immer seltener im Einsatz. Tore und Elektrik sind immer wieder modernisiert oder erneuert worden. Doch nun muss man alte Anlagen sukzessive komplett ersetzen, ohne die Passage für die Schifffahrt zu unterbrechen.

## Beispiel: WNA Datteln

Das Wasserstraßen-Neubauamt (WNA) Datteln ist aktuell für den Neubau von fünf Schleusen im Bereich des nördlichen Dortmund-Ems-Kanals zuständig. Stefan Milchau verantwortet als Baubevollmächtigter die Umsetzung der Elektroplanung – vom einfachen Lichtschalter bis hin zur Schleusensteuerung.

Elektrik macht's möglich: Viele der über 300 Schleusen werden von einer zentralen Leitstelle fernbedient.

Bild: Wasserstraßen-Neubauamt (WNA) Datteln

Der Bauvertrag formuliert eine machbare Umsetzung und gibt die Rahmenbedingungen vor. Aufgrund dieser Vorgaben erstellt ein Subunternehmer (Auftragnehmer) die detaillierte Ausführungsplanung. Anschließend prüft das WNA Datteln diese Pläne und gibt sie zur Ausführung frei. Die abschließenden Bestandspläne erhalten eine Bestätigung, dass sie mit der baulichen Umsetzung übereinstimmen und werden für künftige Instandhaltungsmaßnahmen und/oder Sanierungen archiviert.

**NACH DEM LAUNCH VON EXS GEHÖRTE DIE WSV ZU DEN ERSTEN UMSTEIGERN.**

## Werkzeuge vereinheitlichen

Acht Neubauämter und die 17 Wasserstraßen-Schifffahrtsämter in Deutschland haben über viele Jahre hinweg ihre Aufgaben mit individuellen Vorgehensweisen erfüllt. Im Zuge der Standardisierung und der fortschreitenden Digitalisierung wuchs der Bedarf, einen einheitlichen Standard festzulegen. Damit





Die Schleuse Gleesen am Dortmund-Ems-Kanal ist das nördlichste Bauwerk der sogenannten Schleusentreppe Rheine.

Bild: Wasserstraßen-Neubauamt (WNA) Datteln

In den acht Neubau- und 17 Wasserstraßen-Schiffahrtsämtern gilt heute ein einheitlicher Planungsstandard.

Bild: Wasserstraßen-Neubauamt (WNA) Datteln



ergab sich die Chance, Arbeitsabläufe und Tools zu verbinden und dadurch Synergien zu schaffen. Auch für die Elektroplanung wurde damals eine Lösung gefunden, die sowohl den Anforderungen der Ämter als auch der Auftragnehmer gerecht wird: ecscad von Mensch und Maschine.

Die Software wurde 2019 bundesweit ausgerollt, und Stefan Milchau stellte zunächst nüchtern fest: „Die Software tut, was sie soll. Beim Umgang mit Herstellersymbolen ist noch Luft nach oben, aber die Tatsache, dass wir damit direkt an die Autodesk-Welt angebunden sind, ist prima.“ Der erste Schleusen Neubau an der Schleuse Gleesen wurde noch mit ecscad geplant und verlief reibungslos.

### Nachfolgeprodukt eXs

MuM entwickelte in der Zwischenzeit das Nachfolgeprodukt eXs. Dieses bietet die gleiche, wenn nicht sogar bessere Anbindung an die Autodesk-Welt, eine noch klarere Projektstruktur und eine komfortablere Bedienung. „Es war klar, dass wir dabei bleiben würden“, sagt Stefan Milchau, „die bisherigen Erfahrungen hatten gezeigt, dass wir auf dem richtigen Weg sind.“

Nach dem Launch von eXs gehörte die WSV zu den ersten Umsteigern. Dementsprechend intensiv war die Zusammenarbeit mit dem MuM-Support. Ämterübergreifend wurde eine Arbeitsgruppe gebildet. Pro Amt gibt es einen sogenannten Verfahrensbetreuer,

## » EXS MACHT VIELES NOCH BESSER ALS DIE VORGÄNGERVERSION ECSCAD. «

STEFAN MILCHAU,  
BAUBEVOLLMÄCHTIGTER BEIM WNA DATTELN

der als Schnittstelle zur Arbeitsgruppe fungiert. Die Arbeitsgruppe erstellt einheitliche Unterlagen, zum Beispiel Deckblätter sowie Zeichnungsrahmen und unterstützt die Verfahrensbetreuer in den einzelnen Ämtern. Jährliche Treffen, an denen auch Mitglieder des Betreuungsteams bei MuM teilnehmen, beschleunigen den erfolgreichen Erfahrungsaustausch. „eXs macht vieles noch besser als die Vorgängerversion, und die Zusammenarbeit mit MuM ist außergewöhnlich“,

sagt Stefan Milchau. „MuM greift Ideen auf, die wir entwickeln, und setzt sie um. Auch unsere Nachunternehmer sind inzwischen von dem neuen Tool sehr angetan.“

### Digitalisierung geht weiter

MuM wird die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung künftig auch beim Erarbeiten von Projektvorlagen für die Nachunternehmer unterstützen. Parallel möchte man ein System für das Lizenzmanagement aufbauen, um die vorhandenen Lizenzen effizienter zu nutzen. Und in nicht allzu ferner Zukunft ist die Virtualisierung der CAD-Arbeitsplätze angedacht. „Gut, dass MuM auch in diesem Bereich kompetent ist“, sagt Stefan Milchau. „Wir sind froh, einen Partner zu haben, der mit- und weiterdenkt.“ « RT

Roswitha Menke ist freie Autorin.

# DURCHGÄNGIGE PROZESSE IM SCHALTSCHRANKBAU

Steigende Komplexität, wachsender Kostendruck und der Fachkräftemangel stellen den Schaltschrankbau vor grundlegende Herausforderungen. Gleichzeitig wird deutlich, dass isolierte Optimierungen nicht mehr ausreichen, um Effizienz und Qualität nachhaltig zu sichern. Entscheidend ist vielmehr eine durchgängige Prozessgestaltung, die digitale Lösungen und passende Komponenten intelligent miteinander verbindet. » VON ANJA KOSER



Wago Montagetische sind so konzipiert, dass sie den Einsatz digitaler Arbeitsanweisungen und strukturierter Abläufe am Arbeitsplatz unterstützen.

**D**er Schaltschrankbau ist heute stärker denn je von steigender Komplexität geprägt. Variantenvielfalt, verkürzte Lieferzeiten und zunehmender Kostendruck treffen auf einen anhaltenden Fachkräftemangel. Gleichzeitig wachsen die Anforderungen an Nachvollziehbarkeit, Dokumentation und Datenqualität. Vor diesem Hintergrund rückt ein Aspekt zunehmend in den Fokus: die durchgängige Gestaltung der Prozesse – von der Planung über die Fertigung bis hin zum Betrieb.

Dabei zeigt sich, dass Effizienz und Qualität weniger von einzelnen Maßnahmen abhängen, sondern vor allem vom Zusammenspiel digitaler Lösungen mit geeigneten Komponenten. Bei Wago ist dieser Gedanke fest verankert und spiegelt sich deshalb auch konsequent im gesamten Portfolio wider: Software, Daten und Hardware werden hier

bewusst als zusammenhängende Systemlösung gedacht und entlang der gesamten Prozesskette eingesetzt.

## Medienbrüche als Hürde im Engineering und in der Fertigung

In vielen Unternehmen sind Engineering, Arbeitsvorbereitung und Fertigung noch immer durch unterschiedliche Systeme, manuelle Datenübertragungen und redundante Informationen voneinander getrennt. Änderungen im Engineering lassen sich deshalb häufig nur mit Verzögerung in der Fertigung berücksichtigen. Dies führt zu Mehrfacharbeiten, erhöhtem Abstimmungsaufwand und einer steigenden Fehlerwahrscheinlichkeit. Im Engineering stellen diese Medienbrüche einen zentralen Effizienzfaktor dar, denn jede

inkonsistente oder veraltete Information wirkt sich unmittelbar auf nachgelagerte Prozessschritte aus – insbesondere bei komplexen oder variantenreichen Schaltschränken.

## Durchgängige Daten als Grundlage effizienter Prozesse

Ein ganzheitlicher Ansatz setzt daher bereits im Engineering an. Digitale Planungslösungen wie der Konfigurator Wago Smart Designer unterstützen die strukturierte Planung von Reihenklemmenleisten und Verteilern direkt auf Basis von konsistenten Projektdaten. Der modulare Aufbau und die regelbasierte Konfiguration sorgen dabei dafür, dass technische Randbedingungen bereits frühzeitig berücksichtigt werden.

Ergänzt wird dieser Ansatz durch den Wago Assembling Wizard, der Engineeringdaten in konkrete, montagegerechte Fertigungsinformationen überführt. Dazu gehören:

- eindeutige Bestückungsreihenfolgen,
- visuelle Arbeitsschritte sowie
- vollständige und aktuelle Beschriftungsdaten.

So entsteht eine durchgängige Datenkette vom Engineering bis in die Montage, ohne manuelle Übertragungen oder Medienbrüche. Änderungen im Projekt wirken sich so automatisch auf nachgelagerte Prozesse aus – ein entscheidender Vorteil für Effizienz und Qualitätssicherung.

## Vom digitalen Modell zur realen Umsetzung: Komponenten als Prozessverstärker

Digitale Durchgängigkeit entfaltet ihren vollen Mehrwert erst im Zusammenspiel mit komponentenbasierten Lösungen, die den Prozessgedanken konsequent unterstützen. Genau hier setzt das Produktportfolio von Wago an.

Montagefreundliche Reihenklemmen wie die Topjob S Serie sind auf standardisierte und reproduzierbare Montageprozesse ausgelegt. Einheitliche Bedienkonzepte, klare Anschlusslogiken und einfache Beschriftungsmöglichkeiten ermöglichen eine direkte Umsetzung der digitalen Planungsdaten in der Fertigung.

Ein zentraler Baustein ist zudem die durchgängige Beschriftung. Mit Lösungen wie dem Thermotransferdrucker Wago Smart Printer lassen sich Markierungen direkt aus den Engineeringdaten erzeugen – konsistent, fehlerfrei und ohne erneute Dateneingabe. Die Folge:

- höhere Prozesssicherheit,
- weniger Nacharbeit und
- eine klare Zuordnung von Funktionen und Anschlüssen.

Damit werden Komponenten zum aktiven Bestandteil der digitalen Prozesskette – nicht nur als Bauteil, sondern als Träger strukturierter Informationen.

### Effiziente Montagearbeitsplätze als Verbindungsglied

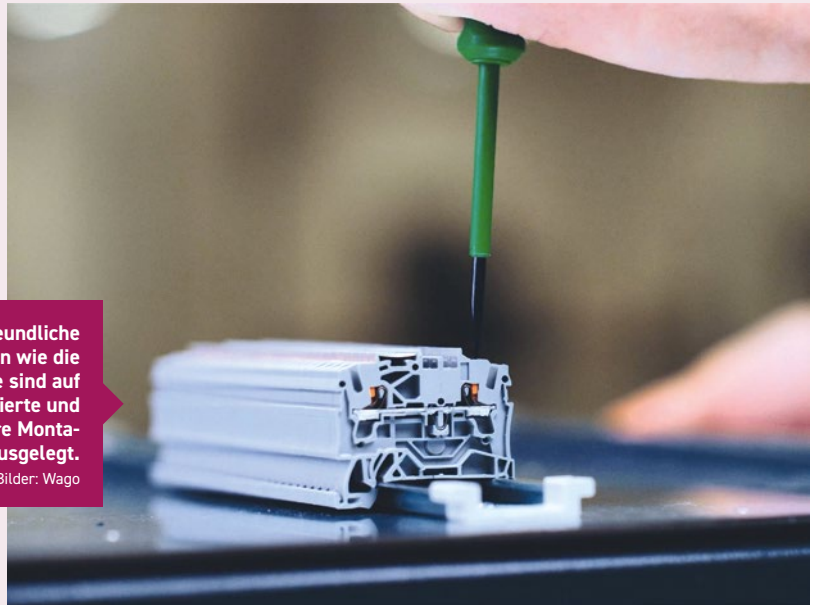
Auch der Montagearbeitsplatz in der Werkstatt spielt eine entscheidende Rolle. Wago Montagetische sind deshalb so konzipiert, dass sie den Einsatz digitaler Arbeitsanweisungen und strukturierter Abläufe am Arbeitsplatz unterstützen und diese mit ergonomischen Aspekten verbinden können. Die im Engineering erzeugten Fertigungsinformationen lassen sich so – etwa über

Die im Engineering erzeugten Fertigungsinformationen lassen sich über angeschlossene Displays direkt am Montageplatz nutzen.



Montagefreundliche Reihenklemmen wie die Topjob S Serie sind auf standardisierte und reproduzierbare Montageprozesse ausgelegt.

Bilder: Wago



## DER SCHALTSCHRANKBAU ENTWICKELT SICH ZUNEHMEND ZU EINER DATENGETRIEBENEN DISZIPLIN.

angeschlossene Displays – direkt am Montageplatz nutzen. Klar definierte Abläufe und die flexible ergonomische Anpassung des Arbeitsplatzes schaffen dabei die Voraussetzung für effiziente, sichere und variantenfähige Montageprozesse. Das Ergebnis:

- kürzere Durchlaufzeiten,
- geringere Abhängigkeit von individuellem Erfahrungswissen und
- reproduzierbare Qualität – unabhängig von Losgröße oder Produkttyp.

### Mehr Effizienz erreichen trotz Fachkräftemangel

Der zunehmende Fachkräftemangel verstärkt die Bedeutung durchgängiger und standardisierter Prozesse noch zusätzlich. Digital unterstützte Abläufe auf Basis von Wago-Software und -Komponenten reduzieren die Komplexität im Arbeitsalltag und erleichtern die Einarbeitung neuer Mitarbeitender. Statt auf das Erfahrungswissen einzelner Personen angewiesen zu sein, stehen strukturierte, datenbasierte Prozesse zur Verfügung. Gleichzeitig werden Fachkräfte von manuellen Routinetätigkeiten entlastet und können sich stärker auf qualitäts- und wertschöpfungsrelevante Aufgaben konzentrieren.

### Fazit: Verzahnung von Software und Komponenten

Der Schaltschrankbau entwickelt sich zunehmend zu einer datengetriebenen Disziplin. Entscheidend für Effizienz und Zukunftsfähigkeit ist dabei nicht die Optimierung einzelner Prozessschritte, sondern die konsequente Verzahnung von Software und Komponenten entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Genau dieses Verständnis setzt Wago mit seinem aufeinander abgestimmten Portfolio aus Software, Beschriftungslösungen, Komponenten und Montagearbeitsplätzen um und zeigt, wie sich Digital Engineering konsequent in die Praxis übertragen lässt – für stabile Prozesse, hohe Qualität und Zukunftssicherheit im Schaltschrankbau.

« KF

Anja Koser ist Editorial Specialist bei Wago.

# VOM ENGINEERING OHNE UMWEGE ZUR BESTELLUNG

Der Schaltschrankbau befindet sich im Wandel: Steigende Variantenvielfalt, kürzere Lieferzeiten und der Fachkräftemangel treffen auf manuelle Prozesse. Die Lösung liegt in digitalen Services: Daten werden nahtlos in bestellbare Lösungen überführt. Das reduziert die Komplexität in operativen Abläufen und entlastet das Fachpersonal. » **VON MARCUS BÖCKLER**



**Individuell konfigurierte Klemmenleisten können mit wenigen Klicks bestellt und vorkonfiguriert für den sofortigen Einbau geliefert werden.**

Informationen liegen verteilt in unterschiedlichen Systemen, Medienbrüche zwischen Engineering, Beschaffung und Fertigung gehören zum Alltag. Besonders bei kundenspezifischen Komponenten wie Klemmenleisten führt das zu hohem Koordinationsaufwand, langen Durchlaufzeiten und eingeschränkter Planbarkeit – bei Lieferanten ebenso wie bei deren Kunden.

Der Anspruch steigt, Projekte auch ab Losgröße 1 wirtschaftlich und terminsicher umzusetzen. Effizienz lässt sich dabei nicht allein durch die Automatisierung einzelner Arbeitsschritte erreichen. Entscheidend ist ein durchgängiger, digital unterstützter Prozess, der Engineering, Angebotserstellung, Bestellung und Fertigung miteinander verbindet. Nur wenn relevante Daten frühzeitig verfügbar sind und ohne manuelle Eingriffe

weiterverarbeitet werden, entstehen Transparenz über Kosten und Lieferzeiten sowie die notwendige Flexibilität für kurzfristige Änderungen.

Digitale Services nehmen dabei eine Schlüsselrolle ein. Sie reduzieren die Komplexität in operativen Abläufen, entlasten das Fachpersonal von wiederkehrenden Routinetätigkeiten und erhöhen die Reaktionsgeschwindigkeit entlang der Wertschöpfungskette. Ein Beispiel dafür ist der digitale Klemmenleistenservice von Phoenix Contact.

## **Medienbrüche als Effizienzhemmnis**

Im klassischen Schaltschrankbau ist die Erstellung kundenspezifischer Klemmenleisten von manuellen, fragmentierten Prozessen geprägt. Planung, Angebotserstellung, Bestellung und Fertigung erfolgen meist getrennt

voneinander und erfordern umfangreiche Abstimmungen – obwohl Klemmenleisten ein zentrales und häufig wiederkehrendes Element in nahezu jedem Schaltschrank sind.

Hinzu kommt eine hohe Änderungsdynamik, etwa im Maschinen- und Anlagenbau. Anpassungen an Klemmenleisten ergeben sich oft erst im Projektverlauf, beispielsweise durch geänderte Kundenanforderungen, neue Normen oder funktionale Erweiterungen. In klassischen Prozessen ziehen selbst kleine Modifikationen erneute Abstimmungen, manuelle Neuberechnungen und aktualisierte Angebote nach sich. Das verlängert Durchlaufzeiten, bindet Ressourcen und erhöht die Fehleranfälligkeit durch Medienbrüche.

Ein zentrales Problem ist zudem die mangelnde Transparenz in frühen Projektphasen. Individuelle Klemmenleisten müssen manuell konfiguriert und kalkuliert werden, sodass Preis und Liefertermin häufig erst zeitverzögert vorliegen. Besonders bei Änderungen im laufenden Projekt ist für Kunden kaum abschätzbar, welche Auswirkungen diese auf die Kosten und Termine haben. Die Planbarkeit sinkt, wirtschaftliche Risiken steigen.

## **TROTZ ECAD-SYSTEM FEHLT HÄUFIG EINE DURCHGÄNGIGE DIGITALE PROZESSKETTE.**

Obwohl die Schaltschrankplanung heute überwiegend in ECAD-Systemen erfolgt, fehlt häufig eine durchgängige digitale Prozesskette, die die dort erzeugten Daten – insbesondere für Baugruppen wie Klemmenleisten – nahtlos in bestellbare Lösungen überführt. Ein manueller, komponentenorientierter Ansatz wird den heutigen Anforderungen somit nicht mehr gerecht.

## End-to-End-Prozesse statt Abstimmungsaufwand

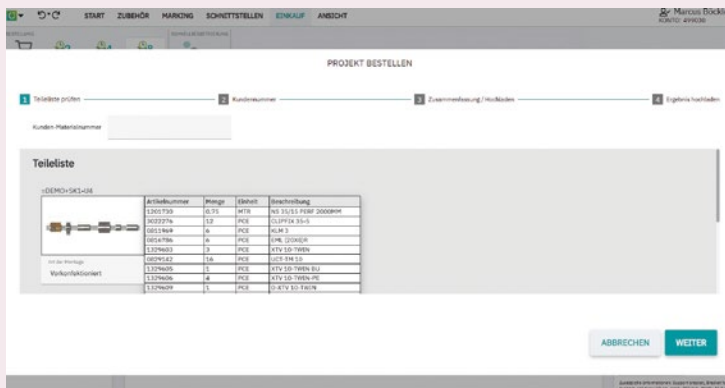
Gefragt sind Lösungen, die Flexibilität, Transparenz und Effizienz vereinen und projektbegleitende Änderungen ohne zusätzlichen Koordinationsaufwand ermöglichen. Der zentrale Hebel ist ein durchgängiger End-to-End-Prozess, der bereits im Engineering beginnt.

## PROJEKTBEGLEITENDE ÄNDERUNGEN ERFOLGEN OHNE ZUSÄTZLICHEN KOORDINATIONS-AUFWAND.

Der digitale Bestellprozess basiert auf der konsequenten Nutzung einheitlicher, digitaler Daten – vom ECAD-Engineering bis zur Bestellung ab Losgröße 1. Anwender projektieren ihre Lösung wie gewohnt im ECAD-System und übertragen die Planungsdaten über eine bidirektionale Schnittstelle in die Engineering-Software Clipx Engineer. Die konfigurierte Klemmenleiste wird dort in Echtzeit bestellbar – ohne erneute manuelle Dateneingaben.

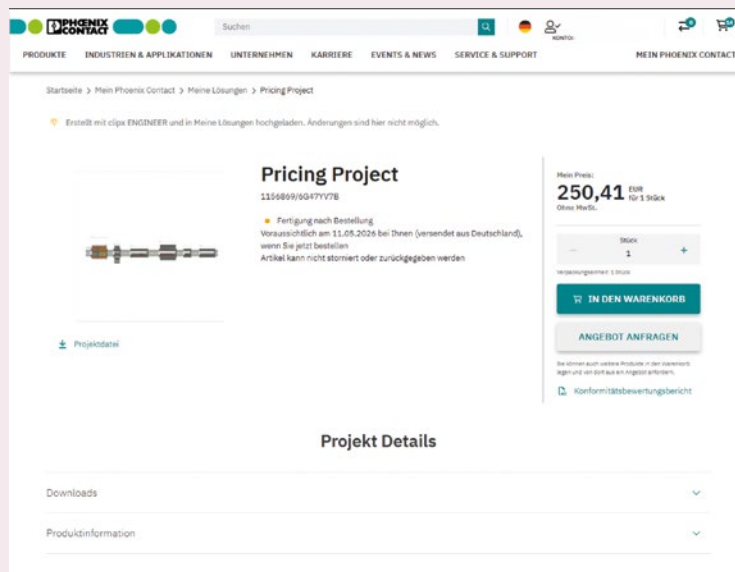
So entsteht ein Bestellablauf, der sich am Bedienkonzept moderner E-Commerce-Prozesse orientiert: Nach der Übernahme des Projekts in die Engineering-Software wird die konfigurierte Klemmenleiste in Echtzeit bestellbar, ohne erneute manuelle Datenerfassung und zeitintensive Rückfragen.

Eine hinterlegte Logik ermittelt nach dem Hinzufügen zum Warenkorb automatisch Preis und Liefertermin, sodass Anwender ihre Projekte verlässlich planen können. Zusätzlich steht ein dauerhaft vorrätiges Produktspektrum zur Verfügung, das die Lieferzeit weiter verkürzt. Diese Informationen werden über Icons in Form von „Fastlane 2“ (Produktion innerhalb von zwei Tagen), „Fastlane 4“ (Produktion innerhalb von vier Tagen)



**Bestellbare Lösung unter einer Artikelnummer: Nahtlose Übertragung des Projektes zur Bestellung an den Phoenix Contact Online-Shop.**

**Erhalt eines direkten Angebotes mit Echtzeitinformationen zu Preis und voraussichtlichem Liefertermin.**



und einer Standardbestellung (Produktion innerhalb von acht Tagen) dargestellt. Anschließend fasst das System die wesentlichen Informationen der Bestellung zusammen und visualisiert Preis sowie Liefertermin.

Ein Praxisbeispiel zeigt den Nutzen: Ändert ein Maschinenbauer während der Projektlaufzeit die Auslegung einer Klemmenleiste, erfolgt die Anpassung direkt im Engineering. Preis und Liefertermin aktualisieren sich automatisch. Die Klemmenleiste wird einbaufertig geliefert – ohne erneute Angebotsrunden oder Abstimmungen. Gleichzeitig entlastet der digitale Prozess qualifiziertes Fachpersonal, reduziert Lagerbestände und senkt Kosten. Die Software übernimmt wesentliche

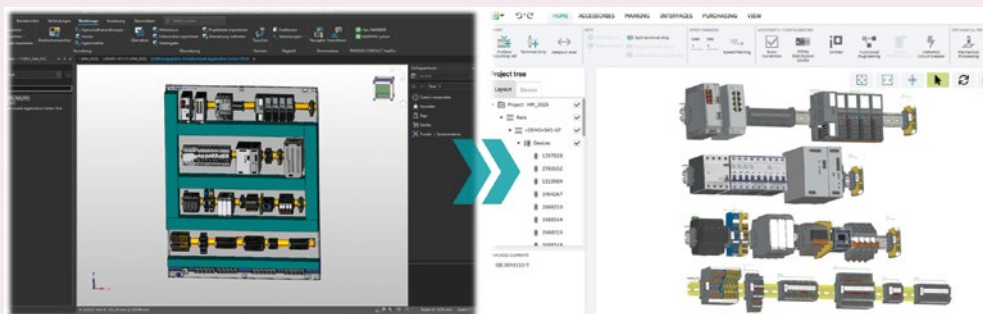
Prozessschritte und erhöht Transparenz, Prozesssicherheit und Durchlaufgeschwindigkeit.

## Durchgängige Digitalisierung als Schlüssel

Effizienzpotenziale im Schaltschrankbau liegen heute weniger in der Optimierung einzelner Arbeitsschritte als in der konsequenten Durchgängigkeit digitaler Prozesse und Daten. Der digitale Klemmenleistenservice verdeutlicht diesen Wandel exemplarisch. Digitale Services werden zunehmend zu integralen Bestandteilen der Wertschöpfung. Sie helfen, Komplexität zu beherrschen, dem Fachkräftemangel zu begegnen und auch Losgröße 1 wirtschaftlich umzusetzen.

Der digitale Klemmenleistenservice ist damit mehr als eine Einzelösung. Er steht für den Übergang zu vernetzten, datengetriebenen Prozessen und ist ein wichtiger Baustein auf dem Weg zu einem zukunftsfähigen und effizienten Schaltschrankbau. **« KIS**

**Marcus Böckler** ist Product Marketing Systems & Customer Services – Business Unit ICS bei Phoenix Contact in Blomberg.



**Datendurchgängigkeit am Beispiel der Schnittstelle von der ECAD-Software Eplan Electric P8 zur Engineering-Software Clipx Engineer von Phoenix Contact.**

Bilder und Screenshots: Phoenix Contact

# SPANNUNGSFREISCHALTUNG AUF SEE: EIN KNOPFDRUCK GENÜGT

Auf Schiffen gelten vor Instandhaltungsarbeiten strenge Sicherheitsvorschriften, um elektrisch sichere Arbeitsbedingungen herzustellen. Mit dem VeriSafe AVT (Absence of Voltage Tester) nutzen Schiffstechniker ein automatisiertes Prüfsystem mit integrierter Messelektronik. So kann man Schaltschränke per Knopfdruck auf Spannungsfreiheit prüfen.

» VON MARTIN KANDZIORA

**D**ie Prüfung auf Spannungsfreiheit ist eine der wichtigsten Sicherheitsmaßnahmen bei der Wartung elektrischer Anlagen – an Land wie auf See. Gefahren und Risiken in Schaltanlagen für Mensch, Schiff oder Hafengebäude sind unter allen Umständen zu vermeiden. Schaltanlagenbauer müssen dementsprechend in ihren Konstruktionen die Einhaltung der Normen für die elektrische Sicherheit, den Brandschutz sowie die mechanische Sicherheit garantieren. In den USA, dem Mutterland von Panduit, bildet der National Electrical Code (NEC) die gesetzliche Grundlage dafür und ist als Stand der Technik akzeptiert. Festgelegt wird er von der National Fire Protection Association (NFPA), die ihn unter dem Arbeitstitel NFPA 70 veröffentlicht. Hierzulande ist der NEC mit den für deutsche beziehungsweise europäische Schaltanlagenbauer und Elektriker angewandten VDE 0100 beziehungsweise IEC 60364 vergleichbar.

## Medizinische Hilfe ist auf hoher See nicht sofort verfügbar

VeriSafe wurde 2019 erstmals als VeriSafe 600 V AVT vorgestellt, um eine einfache, schnelle und vor allem sichere Möglichkeit zu schaffen, elektrische Schaltschränke automatisiert

**Sicherheit bei Wind und Wetter: Ein fest installiertes Spannungsprüfsystem erlaubt es der Crew, vor Öffnen der Schaltschranktür auf Knopfdruck zu prüfen, dass keine Spannung anliegt – ein großer Vorteil bei hohem Seegang.**  
Bild: ©GMeta/stock.adobe.com (generiert mit KI)

auf Spannungsfreiheit zu prüfen. Seitdem hat der Hersteller das System zur Version VeriSafe 1 kV AVT weiterentwickelt, die nun Spannungen bis 1000 Volt AC/DC abdeckt. Anlagenbetreiber in Industrie und Schiffstechnik können so per Tastendruck normgerecht prüfen, ob eine Anlage vollständig vom Stromnetz getrennt ist. Der bisher notwendige Einsatz tragbarer Messgeräte – verbunden mit potenziellen Fehlerquellen, Messfehlern und dem Risiko eines Stromschlags – wird

## ZUSÄTZLICHE MESSGERÄTE UND SCHUTZKLEIDUNG SIND NICHT ERFORDERLICH.

dadurch weitgehend überflüssig. Auf See, wo eine Spannungsfreischaltung oft unter Zeitdruck erfolgen muss und medizinische Hilfe nicht sofort verfügbar ist, bedeutet diese Lösung einen erheblichen Gewinn an Sicherheit und Effizienz.

Mit VeriSafe lässt sich die vorgeschriebene Prüfroutine vollständig automatisieren. Das



Anlagenbetreiber in Industrie und Schiffstechnik können per Tastendruck normgerecht prüfen, ob eine Anlage vollständig vom Stromnetz getrennt ist.

Bild: Panduit

System durchläuft selbsttätig alle Schritte der Norm NFPA 70E (Standard für Arbeitssicherheit an elektrischen Anlagen) und der entsprechenden europäischen Vorschriften, um ein elektrisch sicheres Arbeitsumfeld herzustellen. Dabei überprüft VeriSafe zunächst sich selbst (Selbsttest), kontrolliert dann die Sensorkontakte zu den stromführenden Phasen, testet die Spannungsfreiheit gegen Erde und zwischen den Phasen und führt abschließend erneut einen Selbsttest des



Messsystems durch. Erst wenn jeder Schritt erfolgreich abgeschlossen ist, leuchtet eine grüne Anzeige auf und meldet dem Wartungspersonal eindeutig, dass keine Restspannung im Schaltschrank anliegt. Dieser standardisierte Messablauf garantiert, dass die Sicherheitsanforderungen bei jeder einzelnen Prüfung zuverlässig eingehalten werden – eine kritische Voraussetzung nicht nur in Industrieanlagen, sondern auch auf

Schiffen und Offshore-Anlagen, wo Fehler gravierende Folgen für Mensch und Maschine haben könnten.

### Maritime Einsatzszenarien

Gerade in Maschinenräumen von Schiffen, in Schalttafeln auf der Brücke oder in elektrischen Anlagen auf Offshore-Plattformen spielt VeriSafe seine Stärken aus. Hier finden sich zahlreiche Schaltschränke, Motorstarter und Steuerungsgehäuse, die regelmäßig gewartet werden müssen – und oft unter beengten, schwer zugänglichen Bedingungen. Ein fest installiertes Spannungsprüfsystem an der Schaltschranktür erlaubt es der Crew, vor Öffnen der Tür zu prüfen, dass keine Spannung anliegt. Dadurch muss das Personal den Schaltschrank nicht mit Vollschutz öffnen, was die Arbeit in heißen Maschinen-

### DIE NEUESTE VERISAFE-VERSION DECKT SPANNUNGEN BIS 1.000 VOLT AC/DC AB.

räumen oder bei Seegang erheblich erleichtert. Zudem verringert sich die Gefahr von Fehlern oder Unfällen, da der Prüfungsvorgang automatisiert und reproduzierbar abläuft. Diese erhöhte Sicherheit ist besonders an Bord wertvoll, da auf hoher See die medizinische Versorgung und externe Hilfe eingeschränkt sind. Gleichzeitig verkürzt die sehr schnelle Prüfung (circa zehn Sekunden) die Ausfallzeit von Anlagen ganz erheblich. Beispielsweise kann ein nötiger Service-Einsatz in der Schiffselektrik schneller beendet werden, wodurch wichtige Systeme – von der Antriebsanlage bis zur Navigationsausrüstung – rascher wieder zur Verfügung stehen.



Für den Arbeitsschutz ist die NFPA 70E maßgeblich, die in der aktuellen Ausgabe 2024 auch den Einsatz von Absence-of-Voltage-Testern (AVTs) wie VeriSafe explizit berücksichtigt.

Bild: Panduit



Das Netzwerkmodul ermöglicht eine Echtzeitdiagnose und erstellt Leistungsberichte. Bild: Panduit

### Normen und Standards

Sowohl an Land als auch an Bord müssen elektrische Anlagen gesetzliche Sicherheitsrichtlinien erfüllen. In den USA bildet der National Electrical Code (NEC) die Grundlage und ist vergleichbar mit den hiesigen Normen VDE 0100 bzw. IEC 60364. Für den Arbeitsschutz maßgeblich ist die NFPA 70E, die in der aktuellen Ausgabe 2024 auch den Einsatz von Absence-of-Voltage-Testern (AVTs) explizit berücksichtigt. International gelten zudem Normen wie UL 508A (industrielle Steuerschränke) und NFPA 79 (Maschinensicherheit), die bestimmte Eigenschaften von Trennschaltern und Absicherungsmethoden vorschreiben. VeriSafe selbst erfüllt UL 1436, die Norm für fest installierte Spannungsprüfgeräte und bietet ein sicherheitsgerichtetes Design nach SIL 3 (IEC 61508).

Auch im maritimen Bereich stehen die Anforderungen der Elektrosicherheit denen an Land in nichts nach: Die IEC 60092-Normenreihe für elektrische Schiffssysteme definiert weltweit anerkannte Regeln für Konstruktion, Schutzmaßnahmen und Wartung an Bord. Darüber hinaus fordern Klassifikationsgesellschaften wie DNV oder Lloyd's Register den Nachweis eines sicheren elektrischen Betriebs gemäß internationalen Standards. Mit VeriSafe können Betreiber diese Vorgaben leichter erfüllen, da das System die vorgeschriebenen Prüfabläufe konsequent einhält und dokumentiert. Nicht zuletzt unterstreicht der Hersteller die breite Normenkonformität: Im Datenblatt wird auf alle weiteren internationalen und europäischen Normen verwiesen, nach denen VeriSafe geprüft ist.

### Weitere Sicherheitsmaßnahmen

Zusätzliche mechanische Schutzvorkehrungen bleiben auch auf Schiffen wichtig. Ein Beispiel ist der Flange Mounted Disconnect (FMD). Dabei handelt es sich um einen flanschmontierten Lasttrennschalter, der an der Außenseite eines Schaltschranks angebracht

## NORMEN UND STANDARDS

**UL 508A:** Der Standard für industrielle Steuerschränke. Flanschmontierte Trennschalter müssen für UL-gelistete Schaltschränke zugelassen sein und die Anforderungen hinsichtlich Isolation, Durchschlagsfestigkeit und Kurzschlussfestigkeit erfüllen.

**NFPA 79:** Der Standard für industrielle Maschinen. Er schreibt unter anderem vor, dass Maschinen über einen leicht zugänglichen Haupttrennschalter verfügen müssen – und das ist häufig ein Flange Mounted Disconnect.

**NEC (NFPA 70):** Der National Electrical Code verlangt eine klare und sichere Trennmöglichkeit der Stromzufuhr, insbesondere bei Wartungsarbeiten. Flanschmontierte Trennschalter sind ein anerkanntes Mittel, diese Vorschrift zu erfüllen. VeriSafe ist die geprüfte Messmethode nach NFPA 70E von 2024 und erfüllt den vereinfachten Prozess zur Einhaltung der UL1436.

**OSHA 29 CFR 1910.147 (Lockout/Tagout):** Flange Mounted Disconnects ermöglichen eine sichere LOTO-Anwendung (Lockout/Tagout) – beispielsweise durch Verriegelungsmöglichkeiten am Handhebel. VeriSafe unterstützt die Einhaltung, wenn es zur Überprüfung des elektrischen Lockout/Tagout-Verfahrens gemäß NFPA 70E und CSA Z462 verwendet wird.

**IEC 60947-3 (für internationale Anwendungen):** Viele US-Hersteller zertifizieren ihre Trennschalter (FMD) zusätzlich nach IEC-Normen, um sie auch für Exportmärkte oder globale OEMs attraktiv zu machen.

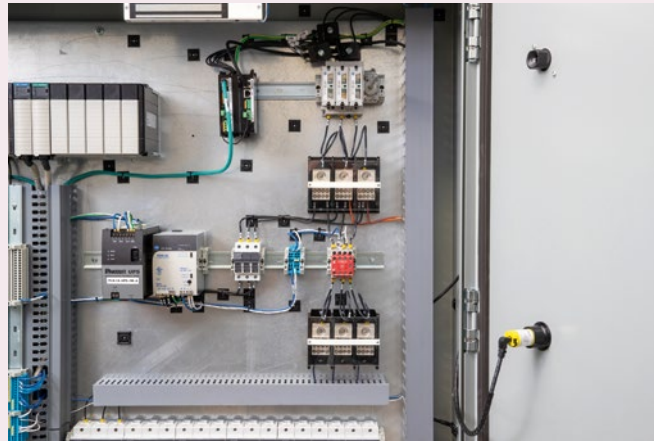
**UL 1436:** VeriSafe erfüllt diese Norm für Steckdosenstromkreisprüfgeräte und ähnliche Anzeigeegeräte sowie viele weitere internationale Normen

wird. Er erlaubt es, den Schrank von außen spannungsfrei zu schalten, ohne zuvor die Tür zu öffnen. Viele dieser Trennschalter sind so konstruiert, dass sich die Schaltschranktür nur im ausgeschalteten Zustand entriegeln lässt – ein wirksamer Schutz gegen versehentliches Öffnen unter Spannung. Vor Wartungsarbeiten an Bord (ähnlich wie an Land) kann so die Energiezufuhr – etwa zum Antriebsstrang oder zu Hilfsaggregaten – sicher unterbrochen werden, ohne dass unmittelbar Kontakte unter Spannung zugänglich sind.

FMD-Schalter unterstützen überdies die konsequente Umsetzung von Lockout/Tag-out-Verfahren – der sicheren Verriegelung und Kennzeichnung von abgeschalteten Energiequellen während der Instandhaltung. Diese Vorgehensweise ist in den USA beispielsweise durch OSHA 29 CFR 1910.147 vorgeschrieben und auch international als Best Practice für das sichere Arbeiten anerkannt. VeriSafe ergänzt solche mechanischen Absicherungen, indem es elektrisch bestätigt, dass keine Restspannung mehr anliegt. Damit wird ein ganzheitliches Sicherheitskonzept erzielt: Physische Trennung durch Trennschalter und messtechnische Bestätigung der Spannungsfreiheit durch das AVT-System.

### Technische Merkmale

Die Version VeriSafe 1 kV AVT eignet sich für Wechsel- und Gleichspannungen bis 1.000 Volt und ist damit auch für Schiffsnetze (oft 440/690 Volt) ausgelegt. Sie deckt Anwendungen bis Kategorie CAT IV ab, was den Einsatz dicht am Einspeisepunkt (etwa Hauptschalttafeln) erlaubt. Das System ist nach Schutzart IP66 gegen Eindringen von Staub und starkem Strahlwasser geschützt. Bei Montage in entsprechend zertifizierten Gehäusen lässt sich sogar IP67 (kurzzeitiges Untertauchen) oder IP69 (Schutz gegen Hochdruck-/Dampfstrahlreinigung) realisieren – ein Pluspunkt für die feuchte, salzhaltige



Das Isolationsmodul kann über redundante Halbleiter-Signalausgänge in Steuerungssysteme integriert werden.

Bild: Panduit

Umgebung auf See. Ebenso entspricht das Gehäuse NEMA Type 4X, womit ein korrosionsbeständiger Einsatz in maritimen Atmosphären gewährleistet ist. Das ausfallsichere Design beinhaltet redundante elektronische

### WARTUNGSPERSONAL KANN PROTOKOLLE IN DER LEITWARTE EINSEHEN UND FERNGESTEUERT TESTS AUSLÖSEN.

Pfade und aktive Statusanzeigen, um jederzeit den sicheren Zustand zu signalisieren. Bei jeder Prüfroutine wird der gesamte Vorgang elektronisch überwacht; auftretende Fehler (zum Beispiel Leitungsunterbrechungen) meldet das Gerät umgehend.

### Integration und Digitalisierung

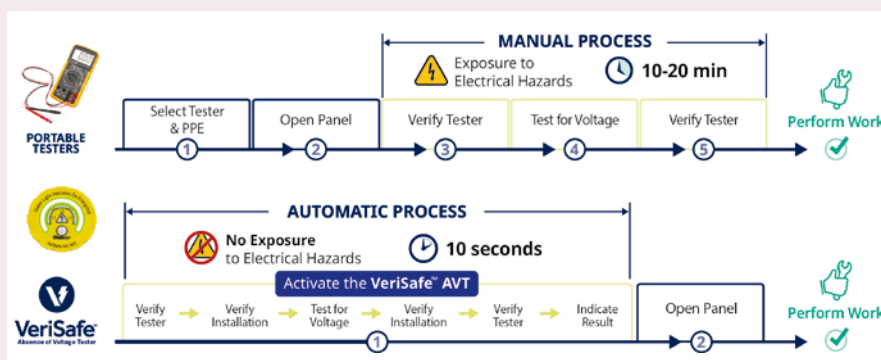
Das System lässt sich nahtlos in moderne Überwachungs- und Steuerungssysteme an Bord integrieren. Über ein optionales Netzwerkmodul kann es via EtherNet/IP oder Modbus TCP mit der Schiffs-Scada oder dem Integrated Automation System verbunden werden. Dadurch stehen Echtzeit-Diagnosedaten zur Verfügung: etwa Protokolle der Prüfungen mit Zeitstempel, Status der Sensorkabel, Batteriezustand und Tempera-

turüberwachung. Verantwortliche können diese Informationen zentral in der Leitwarte einsehen und bei Bedarf sogar ferngesteuert Diagnosen durchführen oder Tests auslösen. Im Ergebnis verbessert dies die vorausschauende Instandhaltung – ein großer Vorteil für Reedereien, die ungeplante Stillstände minimieren möchten. Zudem ist das System in erweiterten Ausführungen auch Atex Zone 2/22 und IEC Ex zertifiziert und somit in explosionsgefährdeten Bereichen – wie sie etwa auf Tankschiffen oder Öl-Plattformen vorkommen – einsetzbar. Damit bietet der Hersteller eine Lösung, die die besonderen Bedürfnisse der Schiffs- und Offshore-Technik erfüllt und gleichzeitig höchsten Sicherheitsstandards entspricht.

### Fazit

Die Automatisierung der Spannungsfreischaltung bietet der Schiffs- und Offshore-Industrie einen deutlichen Mehrwert in puncto Arbeitssicherheit und Effizienz. Normgerechte Prüfabläufe lassen sich unter erschwerten Bedingungen – etwa im Maschinenraum, auf hoher See oder in Ex-Zonen – schneller und zuverlässiger durchführen als je zuvor. Das System reduziert die Belastung für das Wartungspersonal und gewährleistet ein Höchstmaß an Sicherheit, indem es sowohl menschliche Fehler minimiert als auch die Zeit bis zur Freigabe der Anlage drastisch verkürzt. Durch die Unterstützung internationaler Standards sowie maritimer Zertifizierungen fügt sich die Lösung nahtlos in die bestehende Sicherheitsarchitektur von Schiffen ein – von der Maschinenraum-Schalttafel bis zur Brücken-Steuerung. Für Reeder und Schiffsbauer bedeutet dies: elektrische Betriebssicherheit an Bord auf Knopfdruck, weltweit und bei jeder Seelage – denn sicher ist sicher, auch auf hoher See.

« KIS



Der Vergleich der Testmethoden auf Spannungsfreiheit gemäß der NFPA 70E zeigt deutlich die Produktivitätssteigerung. VeriSafe erfüllt die neueste NFP 70E von 2024.

Grafik: Panduit

Dipl.-Ing., MBA, Martin Kandziora ist Senior Manager Marketing bei Panduit.

# NEUER PRÜFSTAND: DIE GESCHICHTE EINES UPDATES

Bei der Halbleiterherstellung sind höchste Hygiene, Präzision und Sicherheit gefragt – auch beim Handling der Wafer in den Laserlithografie-Maschinen. Dafür müssen diese in den Endlagen mit exakt passenden Stoßdämpfern ausgestattet sein. ACE Stoßdämpfer hat dazu mit Partnern aus dem Mittelstand einen neuen Prüfstand gefertigt – schon zum zweiten Mal. » VON JENS FRANTZEN UND ROBERT TIMMERBERG

**K**aum eine Branche ist eine so wichtige Schlüsselindustrie für das 21. Jahrhundert wie die Mikroelektronik. Prozessoren und Speicherchips sind unverzichtbar für das Funktionieren der Welt. Der Bedarf ist gewaltig, der Technologieaufwand immens. Darum verwundert es nicht, dass die Hersteller einen hohen Aufwand betreiben, um ihre Produktionsabläufe zu optimieren und vor allem auch ausfallsicher zu gestalten. Das gilt vor allem für die Laserlithografie als grundsätzliches Verfahren zur Erzeugung von Strukturen in Beschichtungen auf der Oberfläche eines Wafers. Das Beschichten und Weiterverarbeiten findet in automatisierten Verfahren statt, streng abgesichert und kontrolliert. Darum sind auch die Handlingsysteme für das Bewegen der Wafer auf größte Zuverlässigkeit hin optimiert. Ihre Konstruktion besteht aus bewährten, hochwertigen Standardkomponenten für Antriebe, Steuerung und Linearachsen, alle auch tauglich für die Arbeit in Reinräumen.

## Dämpfungstechnik von ACE auf jeder Prüfstand-Generation

Eine essenzielle Komponente für die Sicherheit der Chipfertigung mittels der Laserlithografie-Maschinen sind hydraulische Stoßdämpfer. Sie werden als Notstoppdämpfer in den Bewegungsachsen der in den Maschinen integrierten Handlingsysteme eingesetzt, was neben der X- und Y-Achse auch die mittig angeordnete Center-Pole-Achse (CP) betrifft. Diese Achsen dürfen bei einem Strom- oder Steuerungsausfall nur mit maximal zulässigen Kräften belastet werden, damit die viele Millionen Euro teuren Maschinen unbeschadet bleiben. Ein führender Hersteller setzt hierbei auf Kleinststoßdämpfer von ACE, den zur Stabilus-Gruppe gehörenden Dämpfungsspezialisten aus Langenfeld im Rheinland. Deren so hochwertigen wie robusten, mechanischen, stromunabhängigen und reinraumtauglichen Maschinenelemente passen perfekt zum Anspruch an Hochwertigkeit und Zuverlässigkeit.

## HYDRAULISCHE STOSS-DÄMPFER WERDEN ALS NOTSTOPP-DÄMPFER IN DEN BEWEGUNGSACHSEN EINGESETZT.

In einer ausführlichen Entwicklungsphase werden für jede der drei Achsen passende Komponenten aus dem vielfältigen Kleinststoßdämpfer-Portfolio des Herstellers gewählt und dann individuell auf die Anforderungen angepasst. Um dem Anspruch des Kunden zu genügen, geht das Unternehmen die Extra-Meile und testet die nach Maß angepassten Dämpfer jeweils vor der Auslieferung auf einem eigens für diese Anwendung gebauten Prüfstand. Dazu kooperiert der Anbieter mit dem deutschen Unternehmen



Prüfstandtest aller Kleinststoßdämpfertypen der Kleinserie von ACE vor ihrem Einsatz in Handlingsystemen für die Halbleiter-Produktion.

Bild: ACE

Ferchau aus Gummersbach, Spezialist für Engineering-Dienstleistungen, und mit dem Automotive-Bereich in Köln in direkter Nähe von Langenfeld angesiedelt. Gemeinsam mit Thomas Büttner, heute Leiter der Forschungs- und Entwicklungsabteilung bei Ferchau am Standort Schweinfurt, entstand 2003 ein Prüfstand, der individuell für die Kundenanforderungen konzipiert und konstruiert wurde. Dieser leistete viele Jahre sehr gute Arbeit und half, die hohe Qualität der Kleinststoßdämpfer für die Laserlithografie-Maschinen zu kontrollieren und zu sichern. Als das Risiko bestand, dass der Prüfstand bei einem Defekt aufgrund mittlerweile fehlender Ersatzteile nicht mehr verfügbar sein würde, begann eine neue Kooperation.

## Gleiche Grundbedingungen – neue Wünsche und neue Lösungen

Das Handlungsfeld für den neuen Prüfstand war mit dem des alten identisch: Es galt weiterhin, drei verschiedene Kleinststoßdämpfertypen zu testen, die als Notstoppdämpfer in den Achsen der Laserlithografie-Maschinen eingesetzt werden. Die zu bewältigenden



Kleinserie: Kundenspezifisch modifizierte Kleinststoßdämpfer.

Bild: ACE



**Neuer Horizontalprüfstand von ACE mit hochwertigem elektrischem Antrieb sowie mit Linearführungen, Signalprozessoren und Kraftmessern auf neuestem Stand der Technik.**  
Bild: ACE

Massen und Geschwindigkeiten entsprechen den Original-Anwendungsdaten des Kunden: Für die CP-Achse sind 95,83 Kilogramm bei einer Verfahrgeschwindigkeit von 1,29 Metern pro Sekunde zu dämpfen, für die Y-Achse ebenfalls 95,83 Kilogramm, jedoch mit einem Antriebtempo von 1,08 Metern pro Sekunde, und für die X-Achse 26 Kilogramm bei 2,48 Metern pro Sekunde. Dazu wurde ein Horizontalprüfstand konzipiert, der die verschiedenen Massenkraften auf einem Schlitten mit Hilfe eines elektrisch angetriebenen Linearmotors auf hochwertigen Linearführungen auf die genannten Werte beschleunigt.

Gleichzeitig hatte der Endkunde neue Wünsche an „seinen“ neuen Prüfstand, durch die er noch präzisere Ergebnisse und letztendlich noch mehr Sicherheit erzielen wollte. Dazu Thomas Büttner, der die Kundenanforderungen an die jetzige Evolutionsstufe erläutert: „Der Teststand ist eigentlich eine Verkörperung des Impulserhaltungssatzes und kann über seinen generischen Aufbau, seine verwendete Antriebstechnologie, seine integrierte Mess- und Regelungstechnik die geforderte Kraft-Weg-Kurve darstellen.“ Stephan Melzer, Projektleiter System- & Funktionsentwicklung von Ferchau, ergänzt: „Vom Kunden gab es als Anforderung ein sehr enges Toleranzband, um das die Geschwindigkeit des Schlittens abweichen darf. Diese wird bei uns im Frequenzumrichter über einen Linien-Encoder gemessen und nachgeregelt.“ Um nun die Genauigkeit im Vergleich zum Vorgängersystem zu erhöhen, verbauten die Entwickler einen Encoder mit einer Auflösung von 50 Mikrometern. Damit kann die Geschwindigkeit wiederholgenau mit einer Toleranz von weniger als  $\pm 0,02$  Metern pro Sekunde eingestellt werden.

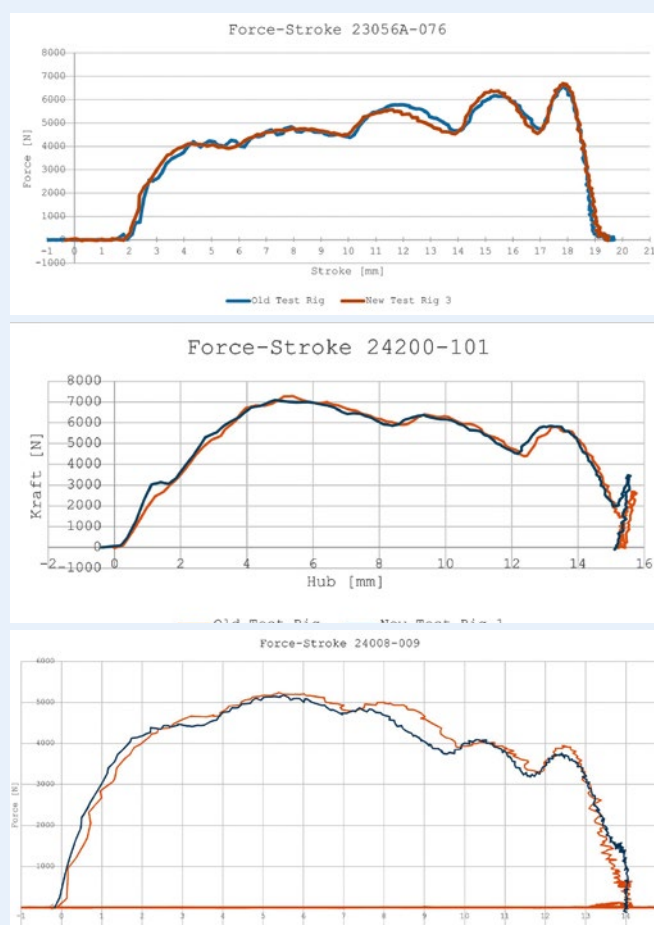
Eine zweite Herausforderung betraf den Abschaltzeitpunkt des Antriebs. Der Wunsch: Um die Messung möglichst wenig zu verfälschen, soll der Antrieb einen Millimeter vor dem Dämpfer abgeschaltet werden. Denn es soll nur die Bewegungsenergie der bewegten Masse vom Dämpfer absorbiert werden. „Um das zu erreichen, muss der Motor bei Erreichen der gewünschten Position innerhalb von 403 Mikrosekunden stromlos geschaltet werden“, so Projektleiter Melzer. „Diese Zeiten waren mit der üblichen Kombination aus SPS und Frequenzumrichter nicht darstellbar.“ Die Lösung bestand darin, die Bewegung auf einem programmierbaren Frequenzumrichter zu realisieren und die Kommunikation über einen Industriebus zu vermeiden. „Ein Test im Herstellerlabor hat uns das bestätigt: Ein Industriebus wäre einfach zu langsam gewesen“, erklärt Stephan Melzer.

## Reibverluste mitgedacht und von der Simulation zum Test

Das Entwicklungsteam von ACE und Ferchau ging bei diesem Projekt für die höchste Präzision im Sinne des Kunden noch weiter. Beispielsweise bezogen sie in ihre Berechnungen auch Reibverluste und sogenannte Cogging Forces, also Polfühigkeiten der Magnete des Linearmotors ein. Diese Kräfte hat der Anbieter entsprechend durch eine Gewichtskompensation berücksichtigt. Und weil das Vorgehen auf dem Weg zum perfekt passenden Stoßdämpfer mehrstufig ist, wählen die Ingenieure zunächst die für die jeweilige Achse geeigneten Typen aus dem Katalogprogramm des Herstellers. Im zweiten Schritt werden dann jeweils konkrete theoretische Auslegungen für jedes dieser Produkte mit Hilfe einer Simulationssoftware durchgeführt. Konkret werden dabei Anzahl und Größe der Drosselbohrungen im Inneren der Dämpfer am Computer simuliert, um die Kraft-Weg-Kurve zu optimieren. Diese optimierten Bohrbilder werden dann in Prüflingen realisiert. Reale Messungen auf dem Prüfstand werden getätigt und mit den Berechnungen der Simulationen verglichen.

## Moderne Messtechnik und der tägliche Betrieb des Prüfstands

Für diese Messungen vertraut ACE auf die Lösungen der Burat & Klein Datentechnik aus Meckenbeuren im Bodenseekreis. Es galt, beim neu entwickelten Prüfstand zum einen den Dämpfungsweg über ein Laser-Weg-Messsystem zu ermitteln und zum anderen die tatsächliche Stützkraft über Kraftsensoren. Hierfür installierten die Spezialisten von Burat & Klein eine individuell angepasste



**In den Lineartests ermittelt ACE für jeden einzelnen Kleinstoßdämpfer den Dämpfungsweg über ein Laser-Weg-Messsystem und die Stützkraft über Kraftsensoren der Burat & Klein Datentechnik, die zudem eine kundenspezifische Auswertesoftware für die Stoßdämpfer bereitgestellt hat.**

Bild: ACE

Messanlage, die MultiMessBox. Die daran angeschlossenen Piezo-Kraftsensoren und die Wegaufnehmer gewinnen dann Daten, die mit der Software MessMax ausgewertet werden können. So ist es möglich, die beim Realtest gemessene Kurve mit der in der Simulation erstellten übereinanderzulegen – also die Theorie in der Praxis zu validieren. „Mit der Auswertesoftware von Burat & Klein können wir die drei essenziellen Parameter abgleichen und die Ergebnisse automatisch in Excel exportieren“, erklärt Jörg Küchmann, Ingenieur aus der Forschungs- und Entwicklungsabteilung von ACE. Im vorliegenden Fall werden die maximale Stützkraft, der maximale Dämpfungsweg und zusätzlich die Energie, also die Fläche unterhalb der Kraft-Weg-Kurve, ausgewertet und überprüft.

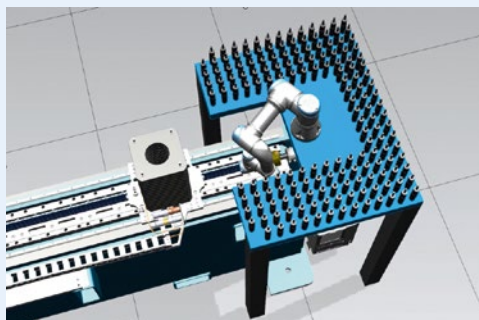
Im Alltag bei ACE läuft der Prüfstand in einem eigenen, gesicherten Bereich. Zuerst muss er mit Gewichten bestückt werden, je nach dem, für welche Achse der Laserlithografie-Maschine die zu prüfenden Stoßdämpfer vorgesehen sind. Dann wird der Prüfling in eine axial verschiebbare Dämpferaufnahme eingeschraubt, hinter der drei Piezo-Kraftsensoren positioniert sind. Diese Sensoren

### DER ANTRIEB SOLL EINEN MILLIMETER VOR DEM DÄMPFER ABGESCHALTET WERDEN.

sind speziell auf die zu erwartenden Kräfte kalibriert, wodurch die Messungen noch genauer werden. Dann kann der Bediener an einem Touch-Display die Prüfungsgeschwindigkeit einstellen. Nach dem Start wird die Masse vom Linearmotor beschleunigt und fährt mit konstanter Geschwindigkeit weiter. Einen Millimeter vor dem Referenzpunkt – der Kolbenstange des Stoßdämpfers – wird die Antriebskraft abgeschaltet und die Masse fährt mit der kinetischen Energie in den jeweiligen Kleinstoßdämpfer. Der speziell für den Kunden optimierte Dämpfer verzögert sodann die Masse gleichmäßig und baut die Geschwindigkeit entsprechend linear ab. Die von den Piezosensoren gemessene Stützkraft bleibt dabei über den gesamten Dämpferhub annähernd konstant. Die gemessenen Resultate können dann mit den zulässigen Grenzwerten der Anwendung abgeglichen werden – und der Dämpfer wird entsprechend als „in Ordnung“ oder „nicht in Ordnung“ abgespeichert. So testet ACE für den Hightech-Kunden mehrere Tausend Dämpfer pro Jahr.

### Deutliche Verbesserungen und geplante Roboter-Integration

Neben der erhöhten Zukunftsfähigkeit durch die technische Aktualisierung bietet der neue Prüfstand weitere Vorteile im Alltag. So ist er wiederholgenauer mit seinem optimierten Messsystem und der genaueren Steuerung in Verbindung mit dem optischen Weg-Messsystem. Auch konnten die Toleranzen der Messung reduziert werden – ein zusätzliches Plus an Sicherheit für den Hersteller und vor allem für den Kunden. Außerdem verfügt der Prüfstand über ergonomische Vorteile und ist vom Prüfpersonal besser und schneller zu bedienen.



Die einzelnen Prüflinge werden vor und nach dem Test per Scan und Schrifterkennung identifiziert.  
Bild: Ferchau



Besuchen Sie uns:  
02. - 03.06.2026, Hamburg  
Halle B6, Stand 313

## EIN REGLER FÜR ALLE FÄLLE

### Multifunktionsregler JUMO diraTRON DR100

Frei konfigurierbare Messeingänge, 4 verschiedene Regelungsarten und eine platzsparende Hutschienenmontage: Der neue JUMO-Universalregler begeistert durch seine hohe Flexibilität, eine schnelle Inbetriebnahme und die mühelose Integration in bestehende Anlagen. Erleben Sie Regelung völlig neu!

➤ [jmo.to/dr100](https://jmo.to/dr100)

Derzeit wird der Prüfstand händisch mit Prüflingen bestückt, bis zu 200 Kleinstoßdämpfer pro Tag werden dabei getestet – für den Anbieter ein Potenzial für Automatisierung. So erstellen die Entwickler aktuell ein Konzept für einen automatisierten Bestückungsprozess. Dafür soll jeder Prüfling für die Zuordnung zur aufgenommenen Kennlinie gescannt werden. Eine KI-Kamera liest dazu die gravierte Seriennummer jedes Dämpfers ein. Dann schraubt ein Roboterarm den Proband in den Prüfstand hinein und nach dem Test wieder heraus. So kann das Unternehmen künftig komplette Stoßdämpfer-Chargen vollautomatisiert checken und per Vergleich die Kennlinien validieren. Damit wird eine weitere Stufe der Optimierung erreicht, und die Erfolgsgeschichte des Teams der drei deutschen mittelständischen Spezialunternehmen ACE, Ferchau sowie Burat & Klein wird weitergehen. « KIS

Jens Frantzen M. A. ist Redakteur.

Robert Timmerberg M. A. ist Fachjournalist (DFJV) und Geschäftsführer von plus2 in Düsseldorf.

# DER WEG ZU INTELLIGENTEN MKA

In den Produktionsumgebungen von Industrie 4.0 ist Messtechnik unverzichtbar: Ohne nachvollziehbare, reproduzierbare Daten sind vernetzte Fertigung, automatisierte Qualitätssicherung und digitale Zwillinge kaum möglich. GTM Testing and Metrology arbeitet aktuell daran, die Mehrkomponenten-Messtechnik „smart“ zu machen, damit sich Anwender auf das Wesentliche konzentrieren können: das Messen. » VON MARCEL RICHTER

Die Realität in Maschinen, Prüfständen und Anlagen ist selten ideal, und Kräfte wirken nie nur in einer einzigen Richtung. Das weiß auch Paul Zolnierek, einer der beiden Geschäftsführer von GTM: „Ein klassischer, linearer Kraftsensor, wie er in konventionellen Prüfanordnungen vorkommt, misst hochpräzise, aber nur in eine Richtung. Allerdings treten in der Praxis fast immer Querkkräfte und Momente auf, die außerhalb der idealen Krafrichtung wirken. Das lässt sich kompensieren oder miteinbeziehen, bloß ignorieren darf man es nicht, denn dann misst man im besten Fall nur einen Teil der Wahrheit.“

Einachsige Kraftsensoren sind seit Jahrzehnten präzise und bewährt, und es gibt viele Gründe, weshalb sie noch längst nicht ausgedient haben. Doch sie bilden nur einen Ausschnitt des tatsächlichen Kraftgeschehens ab. Anders die Mehrkomponentenaufnehmer (MKA): Sie können Kräfte und Momente in allen drei Raumachsen erfassen, bis zu sechs Komponenten gleichzeitig. Das Ergebnis ist ein vollständiges, physikalisch sauberes Bild des Systems, in dem sie integriert sind.

## Die Ära der Mehrkomponentenaufnehmer ist da

Das ist besonders von Bedeutung in Prüfständen, in denen komplexe Belastungen wirken, wie es sie z.B. im Bereich Automotive für Reifen- und Fahrwerkstests gibt. Der Vorteil liegt darin, dass ein MKA, anders als ein einachsiger Sensor, auch Querkkräfte und Momente erkennt und misst, die immer auch einen Einfluss auf diejenige Kraft haben, die eigentlich von Interesse ist. „Sobald ich diese Querkkräfte kenne, kann ich sie kompensieren“, erläutert Paul Zolnierek. „Das

geschieht über eine sogenannte Kompensationsmatrix, die alle Einflussgrößen mathematisch bereinigt. So bekomme ich den reinen, kompensierten Wert in der Achse, die mich interessiert.“

Diese Matrix wird mithilfe einer Hochpräzisions-Kalibrieranlage ermittelt. GTM hat dabei den Vorteil, eine der leistungsstärksten MKA-Kalibriereinrichtungen zu besitzen. Mit dem 4,5 m<sup>3</sup> großen Prüfraum bietet sie genug Platz auch für größere Prüfstücke und hat einen außergewöhnlich weiten Messbereich. Sie arbeitet außerdem vollautomatisch, teils sogar „mannlos“ und über Nacht – derzeit einzigartig und eine GTM-Eigenentwicklung. Das spart viel wertvolle Zeit und Geld. Die Messunsicherheit der MKA-Messeinrichtung



Die von GTM entwickelte und akkreditierte Mehrkomponenten-Bezugsnormalmeseinrichtung zur Kalibrierung von MKA kann alle Vektorachsen gleichzeitig messen und bezieht dabei auch die Schwerkraft ein.

liegt bei 0,1 Prozent, ein Spitzenwert. Sie kann Kräfte von 4 bis 500 kN axial und 2 bis 200 kN quer präzise messen, Momente misst sie zwischen 2 und 50 kNm. Die Hexapode, wie GTM die Einrichtung kurz nennt, ist ein wichtiger Bestandteil, wenn es darum geht, die Weichen in Richtung smarte Messtechnik zu stellen, vor allem mit Fokus auf die Mehrkomponentenaufnehmer.

## Messen, was wirklich ist

Diese erhalten eine immer größere Bedeutung und kommen in den aktuellen Schlüssel- und Hightech-Branchen vermehrt zum Einsatz. Besonders in der Automobilindustrie haben sie neue Maßstäbe gesetzt: Hier ermöglichen MKA-Plattformen, eine besondere Bauweise von Mehrkomponentensensoren, die vollständige Erfassung komplexer Belastungsszenarien an Reifen, Bremsen oder Fahrwerkskomponenten.

Ein stark wachsendes Feld ist die Robotik. Roboter, die Kräfte „fühlen“ und interpretieren können, sind nicht nur präziser, sondern auch sicherer im Zusammenspiel mit Menschen. Paul Zolnierek: „Wenn ein Roboter weiß, welche Kräfte in welcher Richtung wirken, kann er sensibler reagieren – fast so, als hätte er ein Tastgefühl. Die Messung mit MKA ist ein Schlüssel, um Robotern echtes Feedback zu geben. Ein wirklich spannendes Feld!“ Weitere Einsatzbereiche reichen von der Luft- und Raumfahrt über die Medizintechnik und bis zur Wissenschaft und Forschung.

## Wie MKA-Messtechnik „smart“ und kosteneffizienter wird

Doch worin besteht das Neue, an dem GTM aktuell arbeitet? „Was wir aktuell entwickeln





Ein digitaler Kalibrierschein (DCC) verspricht Vorteile, wenn besonders große oder komplexe Datenmengen anfallen, die miteinander in Beziehung stehen – wie bei der Bauteil- und Strukturprüfung, in Prüfständen der Automobilindustrie oder in der Robotik.

Bild: © pi.ai/stock.adobe.com/GTM Testing and Metrology

können wir aufgrund des großen Bauraums die Elektronik in der Plattform integrieren.“

### Exkurs: Der digitale Kalibrierschein als Datenpaket

Stichwort Papier und Kompensationsmatrix: Es lohnt sich zu wissen, dass aktuell eine Entwicklung stattfindet, mit denen die Kraft- und Momentenmessung einen großen Sprung in Richtung Anwenderfreundlichkeit machen wird. Der digitale Kalibrierschein (DCC) wird perspektivisch den Papiernachweis ablösen. Nicht nur für GTM ist das ein logischer Schritt: Da die Sensoren ohnehin digital kommunizieren, können und sollten die Kalibrierdaten künftig direkt in der Elektronik abgelegt sein. „Technologisch ist das längst kein Hexenwerk mehr, sondern im Grunde ein digital abgelegtes, maschinell lesbares PDF“, so Zolnierek. „Die Kunst besteht jedoch darin, für alle Anwender weltweit verbindliche Normen zu finden. Da sind die beteiligten Akteure schon weit vorangeschritten, aber es ist noch ein Stück Weg zu gehen.“

### Die Zukunft misst mehrdimensional

Auch Mehrkomponentenaufnehmer werden nicht über Nacht alle bestehenden Systeme ersetzen. Bei GTM geht man aber davon aus, dass die Zukunft den MKA gehört, denn sie liefern mehr Informationen und mehr Möglichkeiten, Prozesse zu verstehen und zu optimieren. Während einachsige Sensoren weiterhin in Anwendungen ihren Platz haben, in denen es um höchste Präzision oder um sehr große Kräfte geht, erschließen MKA neue Erkenntnisse über all das, was sich noch im Verborgenen befindet.

„Wir werden weiterhin viele einachsige Sensoren verkaufen“, so der GTM-Chef, „aber wann immer sich die Gelegenheit bietet, stoße ich unsere Kunden zum Nachdenken an und frage sie, ob sie sich wirklich sicher sind, ihre Anlage vollständig zu kennen. Denn schaut man genauer hin, zeigt sich oft, dass Querkräfte oder Biegemomente eine größere Rolle spielen als vermutet. Und ein ums andere Mal lässt sich der Kunde überzeugen, es mit einem MKA-System zu versuchen.“

« KF

Marcel Richter ist Geschäftsführer von GTM Testing and Metrology.

und woran wir arbeiten, ist die konsequente Integration der nötigen Elektronik direkt in den Mehrkomponentensensor“, erläutert Zolnierek. Üblicherweise befinden sich in klassischen Messanordnungen die nötigen Messverstärker im Schaltschrank, mehrere Meter entfernt vom Aufnehmer. Das verursacht nicht nur Signalverluste, die zu verfälschten Ergebnissen führen können, sondern auch enorme Verkabelungskosten, denn: „So eine Verkabelung ist keine Wald- und Wiesen-Elektroleitung“, so Zolnierek, „es sind hochpräzise Sensorleitungen, und bei sechs Achsen müssen Sie jede einzeln führen. Zehn Meter Kabel pro Leitung, das summiert sich – finanziell und technisch.“ Wenn es aber gelingt, den Verstärker direkt in den Sensor zu integrieren, gibt es einen gleich doppelten Spareffekt, für Kosten und Genauigkeitsverluste. Und noch dazu potenziell deutlich präzisere Ergebnisse.

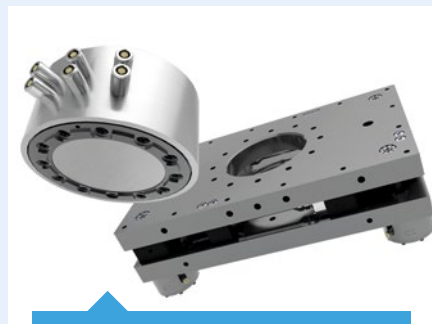
### Plug & Measure ist der Weg zur intelligenten Messtechnik

„Wir nennen unser Konzept Plug & Measure“, fährt Zolnierek fort. „Unser Kunde erhält ein All-inclusive-Gerät, komplett vorkalibriert und kompensiert, mit der größtmöglichen Präzision, die unsere MKA-Messeinrichtung bietet. Ein digitales Ausgangssignal liefert direkt die berechneten Messwerte. Damit nehmen wir dem Anwender viele Stolpersteine ab. Er muss keine Kompensationsmatrix mehr manuell einpflegen, keine Verstärker konfigurieren, man kann keine Leitungen verwechseln. Stromversorgung und digitale Schnittstelle anschließen – fertig. Das ist unser Weg zur intelligenten MKA-Messtechnik.“

Auch bei den sogenannten aufgelösten Systemen, die für besonders komplexe Mes-

sungen oder in großen Prüfständen zum Einsatz kommen, ist der von GTM verfolgte Ansatz vielversprechend und sogar leichter zu realisieren, denn: Solche Systeme sind größer als einzelne, monolithische MKA, mit Abmessungen bis zu 2 x 2 Meter groß. Typischerweise sind es OEM-Anwendungen, bei denen solche Messplattformen zum Einsatz kommen. Immer von GTM angepasst an die Bedürfnisse des Kunden, aber letztlich alle mit exakt der gleichen Funktion, nämlich alle Kräfte und alle Drehmomente in allen drei Achsen präzise zu erfassen.

Paul Zolnierek: „Bisher war es so: Der Kunde bestellt bei uns seine Messplattform und erhält vereinfacht gesagt ein sehr großes Stück Metall, dazu ein Stück Papier mit den Werten für die Kompensationsmatrix. Diese Plattform schließt er dann an einen Messverstärker an. Bei den monolithischen MKA gehen wir bei GTM den Weg der sensornahen Lösung, bringen also die Elektronik so nah an den Sensor wie möglich. Bei den Messplattformen



Aktuelle Mehrkomponentenaufnehmer von GTM (rechts Messplattform Serie MPF, links Serie MKA) messen mehrere Kräfte und Momente entlang verschiedener Vektorachsen gleichzeitig.

Bilder: GTM Testing and Metrology

# MESSUNG UND SIMULATION: ZWEI WELTEN - EIN ZIEL

Da Messungen oft aufwändig und teuer sind, werden sie teilweise durch Simulationen ersetzt. Dabei können sie gerade auch im Zusammenspiel mit Simulationen sehr nützlich sein. Sie helfen beispielsweise, unsichere Parameter wie Materialkennwerte oder Kontakte zu präzisieren, um so die Simulation noch näher an die Realität heranzurücken.

» VON DANIEL SOKOUP



**W**ie bringt man die beiden Welten Messung und Simulation zusammen? Ein praktikabler Weg für dynamische Simulationsanwendungen – Akustik, Vibrationen, Reibung – in der Software Ansys Mechanical heißt NVH Toolkit. Dieser Beitrag beschreibt, was es mit diesem Add-on auf sich hat.

Neben der numerischen Modalanalyse, bei der die Eigenfrequenzen und Moden einer Struktur anhand der Massen-, Dämpfung- und Steifigkeitsmatrix berechnet werden, existiert die experimentelle Modalanalyse (EMA) zur Ermittlung der Eigenfrequenz, der zugeordneten modalen Dämpfung und der Eigenschwingungsformen an physischen Bauteilen. Dabei wird kein Eigenwertproblem gelöst, sondern die Struktur wird zu Schwingungen angeregt und die Antwort an diskreten Punkten gemessen. So lassen sich Übertragungsfunktionen zwischen Antwort und Anregung bilden, aus denen durch spezielles Curve Fitting die modalen Parameter sowie die Schwingformen eines Bauteils ermitteln werden können.

## Eigenmoden und -frequenzen aus Simulation und Versuch vergleichen

Es ist einfach, die Differenz zwischen einer gemessenen und der zugehörigen simulierten Eigenfrequenz zu ermitteln. Das Ergebnis ist ein skalarer Zahlenwert. Aber wie stellt man fest, welche Schwingform aus Messung und Berechnung zusammengehören? Ohne eine Möglichkeit, diese Moden nebeneinander zu visualisieren, ist das kaum möglich. In Ansys Mechanical kommt hier das Add-on NVH Toolkit ins Spiel. Die Frage ist: Wie werden die Messdaten ins System gebracht?

## Messung importieren im Universal File Format (UNV)

Es gibt viele Möglichkeiten, eine EMA durchzuführen – vom Impulshammer und Beschleunigungsaufnehmer bis hin zur Anregung über Shaker oder Lautsprecher und Messung der Antwort mit 3D-Laservibrometer. Die Hersteller von Mess-Equipment

verwenden oft proprietäre Dateiformate, die ohne die zugehörige Software nicht gelesen werden können. Deshalb definierte das Labor für Strukturdynamik der Universität in Cincinnati das Universal File Format (\*.unv oder \*.uff). Dieser Standard beschreibt eine reine Textdatei und kann aus fast jeder Messsoftware exportiert werden. Die Datei enthält Textblöcke, die als Formate bezeichnet werden und je nach Inhalt eine vorgegebene Struktur (Messpunktkoordinaten, Eigenmoden) einhalten. (Quelle: Structural Dynamics Research Laboratory, University Cincinnati – Universal File Formats for Modal Analysis Testing (uc.edu); Stand: April 2024)

In diesem Beitrag wird ein einfacher Balken aus Stahl betrachtet, für den eine Messung vorliegt. Diese beinhaltet insgesamt zehn verschiedene Messpunkte und die ersten sechs Eigenmoden. Der Anwender von Ansys Mechanical muss lediglich den Pfad zu der entsprechenden Messdatei im Detailfenster angeben. Anschließend werden automatisch die aus der UNV-Datei gelesenen Informationen im Grafikfenster eingeblendet: In Rot das verwendete Messgitter, sodass direkt erkennbar ist, inwiefern die Ausrichtung zum Simulationsmodell passt. Bei Bedarf kann die Orientierung oder Skalierung auch direkt im sogenannten MAC Calculator – MAC steht für Modal Assurance Criterion – korrigiert werden.

HERSTELLER VON MESS-EQUIPMENT VERWENDEN OFT PROPRIETÄRE DATEIFORMATE.

## Visueller Vergleich der Schwingformen

Nach einem Update der Ergebnisse zeigt die Ansicht eine Matrixdarstellung mit farbigen Zellen, die zeilenweise die simulierten Moden und spaltenweise die aus der UNV-Datei darstellen – eine Gegenüberstellung der beiden Welten. Zum vergleichenden Visualisieren zweier Moden nebeneinander klickt

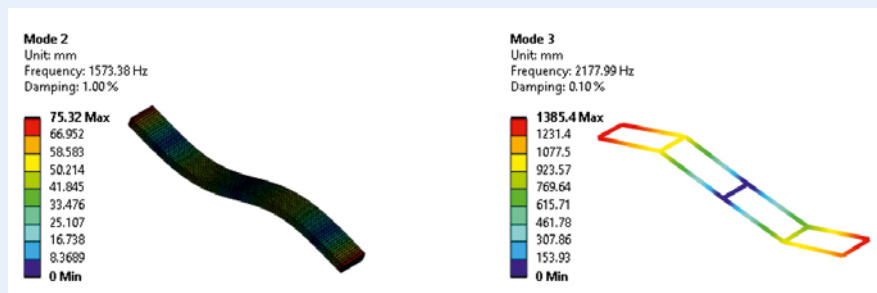
man in das entsprechende Feld der Matrix. Im Grafikfenster wird dann links das Simulationsergebnis und rechts die gemessene Mode auf dem Messgitter dargestellt. Auch eine Animation der Modenpaarung ist möglich. Somit kann bereits eine erste subjektive Bewertung gemacht werden, was zusammengehört. Das bedeutet aber nicht, dass jetzt sämtliche Moden einzeln betrachtet und verglichen werden müssen. Denn jetzt unterstützt eine Automatisierung.

### Das Modal Assurance Criterion (MAC)

Werfen wir nochmal einen Blick auf die MAC-Matrix. Das Modal Assurance Criterion ist ein Korrelationskriterium für Eigenmoden. Es gibt Aufschluss darüber, wie „verwandt“ zwei Schwingformen zueinander sind. Für alle Indizes  $i$  und  $j$  werden die möglichen Modenkombinationen aus der FEM-Simulation und der experimentellen Modalanalyse (EMA) nach berechnet.

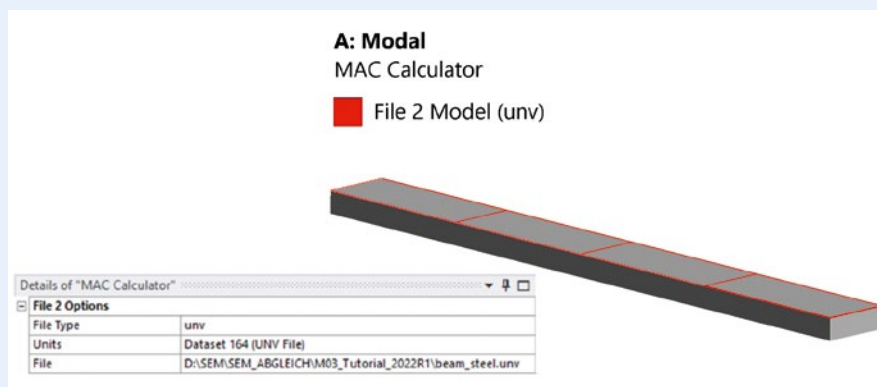
Es erinnert an das Skalarprodukt in der Geometrie, mit dem der Winkel zwischen zwei Vektoren bestimmt wird. Durch das Normieren ergeben sich für den MAC-Wert Werte zwischen null und eins. Dabei bedeuten MAC-Werte nahe eins eine hohe Übereinstimmung zwischen Eigenmoden und null keinerlei Übereinstimmung.

Mit diesem Kriterium kann also auch eine Zuordnung von Schwingformen erfolgen – das sogenannte Mode Pairing. Dabei werden anhand der höchsten Übereinstimmung Modenpaare gebildet. Das visuelle Puzzeln entfällt somit, und die Voraussetzungen für einen automatisierbaren Workflow sind geschaffen. Im MAC-Calculator kann dazu die Option Pair Modes aktiviert werden. Es empfiehlt sich, das MAC-Limit von 0.9 und gegebenenfalls auch die Frequenztoleranz zu



Simulierte zweite Eigenmode (links), gemessene dritte Eigenmode (rechts).

Bild: Cadfem Germany



Visualisierung des Messgitters aus UNV-Datei auf dem Simulationsmodell.

Bild: Cadfem Germany

reduzieren, sodass möglichst für jede gemessene Mode auch ein Partner gefunden wird. Im betrachteten Fall ist klar zu erkennen, dass alle sechs Schwingformen der Messungen in der Simulation identifiziert werden können, jedoch die Reihenfolge vertauscht ist.

### Abgleich dynamischer Simulationen mit Versuchen

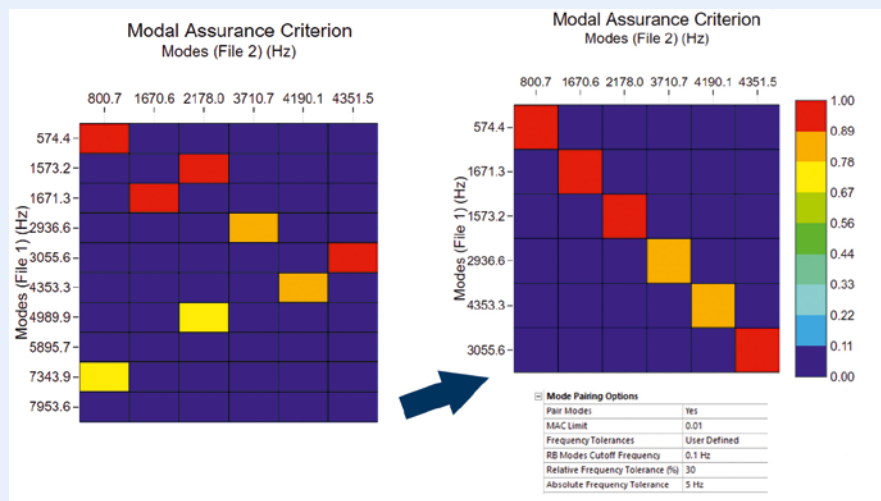
Was aber ist zu tun, wenn Modenpaare zwar gefunden werden, aber große Abweichungen etwa in der Frequenz diagnostiziert werden? Das MAC als objektives Gütekriterium für die Übereinstimmung von Eigen-

## DAS VISUELLE PUZZELN ENTFÄLLT.

moden als Zahlenwert erlaubt eine automatische Modenpaarung, aus der sich eine Zielfunktion für eine Optimierung ableiten lässt. Dabei wird die Abweichung zwischen Simulation und Versuch minimiert durch Variation unsicherer Simulationsparameter (Materialkennwerte, phys. Kontaktparameter etc.) mit dem Ziel, diese zu identifizieren. Der entsprechende Workflow kann individuell entwickelt werden.

« KIS

Daniel Sokoup ist Berechnungsingenieur bei Cadfem Germany.



MAC-Matrix vor dem Mode Pairing (links) und danach (rechts).

Bild: Cadfem Germany

### SEMINAR-TIPP

Das eintägige Seminar „Abgleich dynamischer Simulationen mit Messungen“ vermittelt, wie Berechnungsingenieure ihre Simulationsmodelle in Ansys durch präzise Messdaten optimieren. Es gibt zwei Termine: 25. Juni 2026 und 13. Oktober 2026

Infos und Anmeldung unter:

<https://www.cadfem.net/de/de/weiterbildung/abgleich-dynamischer-simulationen-mit-versuchen-12733.html>

# IM SPAGAT ZWISCHEN PRÄZISION, SCHNELLIGKEIT UND KOSTENSENSIBILITÄT

Sensorik und Messtechnik stehen an einem Wendepunkt: Höhere Anforderungen an Präzision, Vernetzung und Echtzeitfähigkeit treffen auf dynamische Märkte, neue Technologien und steigenden Kostendruck. Gleichzeitig eröffnen KI, innovative Materialien und neue Messprinzipien zusätzliche Möglichkeiten für industrielle Anwendungen. Doch welche Entwicklungen sind entscheidend, und wo liegen die größten Herausforderungen? Für unsere Expertenumfrage haben wir Branchenvertreter um ihre Einschätzungen gebeten. » VON KARIN FAULSTROH



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

**O**b in der Automatisierung, der Medizintechnik oder der Mobilität: Sensoren sind das Nervensystem moderner Technologien. Doch mit der wachsenden Bedeutung steigen auch die Erwartungen. Gefragt sind heute nicht mehr einzelne Messkomponenten, sondern intelligente, vernetzte Systeme, die Daten nicht nur erfassen, sondern verstehen und nutzbar machen.

Die Herausforderungen, da sind sich die Experten einig, liegen zunehmend in der Integration, der Datenqualität und der Systemkomplexität. Gleichzeitig gewinnt der gezielte Einsatz von KI an Bedeutung. Aber nicht als Selbstzweck, sondern als Werkzeug zur Prozessoptimierung und Effizienzsteigerung. Zukunftstechnologien wie Quantensensorik, photonische Ansätze oder neuartige Materialien versprechen zusätzliche Innovationssprünge, müssen sich jedoch an ihrer industriellen Umsetzbarkeit messen lassen.

## FRAGEN AN DIE EXPERTEN:

1. Was sind derzeit die größten Herausforderungen im Bereich Sensorik und Messtechnik?
2. Welche Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten bietet die Integration von KI in modernen Sensoren?
3. Welche Zukunftstechnologien – etwa Quantensensorik, photonische Sensoren oder neuartige Materialien – werden die Leistungsfähigkeit und Einsatzmöglichkeiten von Sensorsystemen in den kommenden Jahren maßgeblich verändern?



### DR.-ING. PHILIPP BECKER

Teamleiter Smart Systems Development  
bei Fritz Kübler  
Bild: Fritz Kübler GmbH

**1** Eine zentrale Herausforderung liegt weniger in der einzelnen Messgröße als im Gesamtverständnis des Systems, in dem Sensorik eingesetzt wird. Kunden erwarten heute keine isolierten Sensoren, sondern passgenaue Lösungen, die sich zuverlässig in Maschinen, Antriebe und Automatisierungsarchitekturen integrieren lassen. Damit steigen die Anforderungen an Integration, Schnittstellen und Signalqualität deutlich. Für Kübler ist es entscheidend, die Anwendung des Kunden ganzheitlich zu betrachten und Sensorik so auszulegen, dass sie belastbare, reproduzierbare Informationen für das jeweilige System liefert und einen echten funktionalen Mehrwert schafft.

**2** KI bietet die Möglichkeit, Sensordaten kontextbezogen auszuwerten und dem Anwender zusätzliche Systeminformation bereitzustellen. Lernbasierte Algorithmen können helfen, Störeinflüsse besser zu beherrschen und Abweichungen frühzeitig zu erkennen, etwa für Zustandsüberwachung oder Servicekonzepte.

Für Kübler steht dabei nicht die Technologie im Vordergrund, sondern der konkrete Kundennutzen. KI soll gezielt dort eingesetzt werden, wo sie die Integration ins Gesamtsystem unterstützt, Transparenz erhält und die Aussagekraft von Sensordaten für den Kunden erhöht.

**»Kunden erwarten heute keine isolierten Sensoren, sondern passgenaue Lösungen.«**

**3** Die Leistungsfähigkeit zukünftiger Sensorsysteme wird vor allem durch neuartige Materialien, höhere Integration und intelligente Signalverarbeitung geprägt. Neue Werkstoffe ermöglichen verbesserte Sensoreigenschaften und können gleichzeitig dazu beitragen, Abhängigkeiten von kritischen Rohstoffen zu reduzieren – ein Thema, das durch aktuelle Lieferkettenentwicklungen stark an Bedeutung gewonnen hat.

Für Kübler steht dabei im Fokus, technologische Innovationen in verlässliche, kundengerechte Gesamtlösungen zu überführen, die sich stabil in industrielle Systeme integrieren lassen und langfristig verfügbar sind.



### TORSTEN FUCHS

Geschäftsführer  
von Gefran Deutschland  
Bild: Gefran Deutschland GmbH

**1** Die größte Herausforderung ist nicht die Messung selbst, sondern die Verlässlichkeit der Daten im realen Prozess. Gerade in Anwendungen wie Kunststoffverarbeitung oder thermischen Prozessen stoßen viele Standardlösungen an ihre Grenzen. Entscheidend sind robuste, langzeitstabile Sensoren, die auch unter extremen Bedingungen präzise bleiben – und Daten liefern, auf die sich der Anwender wirklich verlassen kann.

**2** KI macht nur dann Sinn, wenn sie konkret zur Prozessverbesserung beiträgt. Der Mehrwert liegt nicht in der Datensammlung, sondern in der unmittelbaren Auswertung am Prozess. Intelligente Sensorik kann Abweichungen früh erkennen und aktiv zur Stabilisierung beitragen – etwa bei Druck- oder Temperaturverläufen. Das reduziert Ausschuss und Stillstände deutlich. Entscheidend ist: so viel Intelligenz wie nötig, so nah am Prozess wie möglich.

**3** Neue Technologien wie photonische oder Quantensensorik sind spannend, aber für die Industrie zählt nicht das Konzept, sondern die Umsetzbarkeit. Der größte Fortschritt wird dort entstehen, wo neue Materialien und Sensorkonzepte in robuste, wirtschaftliche Lösungen übersetzt werden. Am Ende entscheidet nicht die Technologie, sondern ihr Beitrag zur Prozesssicherheit und Produktivität.



### CHRISTIAN FIEBACH

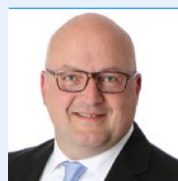
Mitglied der Geschäftsführung  
bei ipf electronic  
Bild: ipf electronic gmbh

**1** Die Usability von Standardsensoren muss im Sinne der Anwender entscheidend vereinfacht werden, um unter anderem wesentliche Vorteile etwa bei der Inbetriebnahme oder Produktumstellungen zu erhalten. Und wenn Standard nicht reicht, profitiert der Anwender von unserem Know-How, dass wir als Entwickler auch von Sonderlösungen in über 40 Jahren aufgebaut haben.

**2** In der Sensorik bietet die Integration von KI unter anderem den Vorteil, dass anwendungsbezogene Variationen eines iO-

Zustandes automatisch generiert werden und sich somit die Stabilität von Bewertungsprozessen maßgeblich steigern lässt. Aber das ist nur ein Beispiel von vielen, in denen KI zukünftig eine ganz entscheidende Rolle spielen wird.

**3** Die Leistungsfähigkeit zukünftiger Sensorsysteme wird nicht durch eine einzelne Technologie, sondern durch das Zusammenspiel mehrerer tiefgreifender Innovationsfelder bestimmt. Zukunftstechnologien werden hier vermutlich ähnliche disruptive Effekte haben, wie zum Beispiel die Einführung der Laser- und Halbleitersensorik. Letztendlich stellt sich aber immer die Frage, ob solche Technologien mit einem überschaubaren konstruktiven Aufwand wirtschaftlich umsetzbar sind, um ein breites Anwendungsfeld zu erschließen.



### HARALD SCHUPPICH

Produktmanager Thermostate/Zeigerthermometer  
bei Jumo (Fulda)  
Bild: Jumo

**1** Unsere größten Herausforderungen in der Sensorik und Messtechnik liegen aktuell im Spannungsfeld aus geopolitischen Unsicherheiten, Nachhaltigkeits- und Energiezielen, hohem Kosten- und Innovationsdruck sowie der Verantwortung, Anwender aktiv durch den technologischen Wandel mitzunehmen. Unternehmen, die technologische Resilienz mit Robustheit, Nachhaltigkeit und Anwenderorientierung verbinden, werden sich langfristig erfolgreich positionieren können.

**2** Die rasante Entwicklung bei der Integration von KI-Anwendungen verändern derzeit die Art und Weise, wie industrielle Prozesse geplant, überwacht und gesteuert werden. Durch 24/7-Datenanalyse und -Datenspeicherung lassen sich Prozesse heute nahezu in Echtzeit bewerten und anpassen. Die KI übernimmt dabei zunehmend die Rolle eines Dirigenten, der komplexe Systeme autonom koordiniert und harmonisiert. Das größte Potenzial dieser Entwicklung liegt in der intelligenten Steuerung beziehungsweise Orchestrierung von Prozessen. Durch den gezielten Einsatz von KI lassen sich erhebliche Kosteneinsparungen, insbesondere im Energieverbrauch, realisieren und gleichzeitig Effizienzgewinne erzielen, die sich direkt in einer verkürzten time-to-market widerspiegeln. Regel- und Steuerungsphilosophien stehen damit am Beginn eines ‚neuen Zeitalters‘.

**3** Mit Hilfe moderner KI-Werkzeuge werden in immer kürzeren zeitlichen Abständen neue Entdeckungen in der Werkstofftechnik sowie in den zugrunde liegenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten möglich. Diese Dynamik beschleunigt den technologischen Fortschritt erheblich. Gleichzeitig werden die zunehmend schnelleren technischen Evolutionszyklen durch die begrenzten Möglichkeiten vieler Anwender sowie durch bestehende Infrastrukturen gebremst.

Ein möglicher nächster großer Entwicklungssprung zeichnet sich durch KI-Rechenzentren oder sogenannte KI-Fabriken ab.

»Die Usability von Standardsensoren muss im Sinne der Anwender entscheidend vereinfacht werden.«

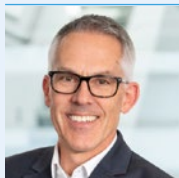
»Die KI übernimmt zunehmend die Rolle eines Dirigenten, der komplexe Systeme autonom koordiniert und harmonisiert.«

## FRAGEN AN DIE EXPERTEN:

1. Was sind derzeit die größten Herausforderungen im Bereich Sensorik und Messtechnik?
2. Welche Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten bietet die Integration von KI in modernen Sensoren?
3. Welche Zukunftstechnologien – etwa Quantensensorik, photonische Sensoren oder neuartige Materialien – werden die Leistungsfähigkeit und Einsatzmöglichkeiten von Sensorsystemen in den kommenden Jahren maßgeblich verändern?

Wenn die technologischen, energetischen und regulatorischen Rahmenbedingungen stimmen, hat insbesondere die Quantensensorik das Potenzial, den Beginn eines ‚neuen Zeitalters‘ in der Sensorik und Messtechnik einzuleiten.

Für die Industrie kommt es jetzt weniger auf visionäre Maximalzenarien an, sondern auf konkrete, umsetzbare Mehrwerte. Entscheidend ist damit nicht mehr, was theoretisch möglich wäre, sondern was Unternehmen unter realen Rahmenbedingungen – geprägt von Kostendruck, Fachkräftemangel und wachsendem Markttempo – unmittelbar weiterbringt.



## MARC HEHLE

Chief Technology Officer (CTO)  
bei der Kistler Gruppe  
Bild: Kistler Gruppe

1 Die Vielfalt der Einsatzmöglichkeiten: Brückenlast im Verkehr überwachen, Temperaturen von Batterien in Elektro-Fahrzeugen kontrollieren, Qualität im Spritzguss prüfen... Die Nachfrage nach immer spezielleren Anwendungen und genaueren Messverfahren wächst. Gleichzeitig werden die Entwicklungszyklen kürzer und damit die Time-to-Market. Gerade Märkte wie China sind kostensensitiv. Den Spagat zwischen Präzision, Schnelligkeit und Kostensensibilität müssen wir managen. Deshalb binden wir Kunden direkt in die Entwicklung unserer Produkte mit ein und testen Prototypen direkt bei ihnen.

»Die Nachfrage nach immer spezielleren Anwendungen und genaueren Messverfahren wächst.«

2 Erstens hilft uns KI, in der Produktentwicklung effizienter zu werden. Zweitens setzen wir KI in unseren Produkten ein. Sie macht beispielsweise eine automatisierte 100-Prozent-Kontrolle von Teilen möglich, etwa beim Spritzgießen in der Medizintechnik. Unsere KI-gestützte Software ComoNeoPredict prüft alle Teile anhand bestimmter Produktmerkmale. Anomalien lassen sich so frühzeitig erkennen, und Vorhersagen zu den späteren Abmessungen eines Bauteils sind möglich. Ich gehe davon aus, dass Systeme in Zukunft noch lernfähiger werden und präzisere Vorhersagen treffen können. Das ist besonders bei Prozessen mit hohen Qualitätsanforderungen wichtig.

3 Wir bei Kistler setzen unter anderem auf Verfahren aus der Fiberoptik. Hier haben wir eine neue Messtechnik, die im Bereich Strain & Shape besondere Vorteile hat: Mit hoher zeitlicher Auflösung von bis zu 400 kHz können wir im Nanostrain-Bereich sehr schnelle Vorgänge und gleichzeitig sehr kleine Verformungen hochpräzise messen, etwa die Explosion eines Airbags oder die Verformung eines Frontflügels bei einem Rennwagen.



## BENEDIKT RAUSCHER

Senior Manager External Collaboration,  
Digital Innovation Office, bei Pepperl+Fuchs  
Bild: Pepperl+Fuchs SE

1 Aus Sicht eines mittelständischen Familienunternehmens sind aktuell vor allem drei Punkte prägend: erstens der Spagat zwischen höherer Präzision, Miniaturisierung und sinkenden Stückkosten; zweitens volatile Lieferketten, Regulierung und schwankende Nachfrage; drittens der Fachkräftemangel bei gleichzeitig steigendem Bedarf an Datenkompetenz und Systemverständnis. Hinzu kommt, dass Sensoren immer stärker in vernetzte, softwaregetriebene Gesamtsysteme eingebettet werden müssen.

2 Die Integration von KI in Sensoren bringt große Vorteile: Daten können direkt am Entstehungsort verarbeitet, bewertet und in Echtzeit genutzt werden. Das erhöht Reaktionsgeschwindigkeit, reduziert Energiebedarf und Datenverkehr und verbessert die Datensicherheit, weil nicht jede Information in die Cloud muss. In der Praxis entstehen dadurch ‚smarte‘ Sensoren für Zustandsüberwachung, Qualitätsprüfung, vorausschauende Wartung und adaptive Prozesssteuerung.

3 Besonders relevant sind aus meiner Sicht Quantensensorik, photonische Sensoren und neuartige Materialien. Quantentechnologien können Messgrenzen verschieben und extrem empfindliche, bisher nicht erreichbare Messungen ermöglichen, auch wenn Integration und Kosten noch Hürden sind. Photonische Sensoren versprechen hohe Empfindlichkeit, kompakte Bauformen und neue Einsatzfelder in Industrie, Medizintechnik und Umweltmesstechnik. Neuartige Materialien und MEMS-Ansätze werden Sensoren kleiner, robuster und besser integrierbar machen; damit wachsen ihre Einsatzmöglichkeiten in allen vernetzten Anwendungen.



## STEFAN KÜHLING

Director Product Management Industrial Sensing  
bei der Sick Vertriebs-GmbH  
Bild: Sick

1 Die größten Herausforderungen liegen aktuell in der steigenden Komplexität industrieller Prozesse, hohen Anforderungen an Genauigkeit und Verfügbarkeit sowie der Integration von Sensorik in vernetzte, digitale Systeme. Hinzu kommen Kostendruck, Energieeffizienz, funktionale Sicherheit und die Notwendigkeit, große Datenmengen zuverlässig und in Echtzeit auszuwerten – oft unter rauen Umgebungsbedingungen.

2 Die Integration von KI ermöglicht Sensoren, Daten nicht nur zu erfassen, sondern kontextbezogen zu interpretieren. Vorteile sind höhere Messstabilität, automatische Parametrierung, Anomalie- und Fehlererkennung sowie vorausschauende Wartung. Anwendungsmöglichkeiten finden sich unter anderem in der Qualitätsprüfung, Objekterkennung, Prozessoptimierung und

»Quantensensorik besitzt langfristig hohes Potenzial für extrem präzise Messungen, ist jedoch aktuell primär für Spezial- und Forschungsanwendungen relevant.«

in adaptiven Sensorsystemen für dynamische Produktionsumgebungen.

**3** ■ Neue Halbleitermaterialien und integrierte Mikrosysteme ermöglichen weitere Fortschritte in Integrationsdichte, Geschwindigkeit und Robustheit industrieller Sensoren. Quantensensorik besitzt langfristig hohes Potenzial für extrem präzise Messungen, ist jedoch aktuell

primär für Spezial- und Forschungsanwendungen relevant. Gleichzeitig treiben Edge-Computing, KI-Hardware und neue Packaging-Technologien die Funktionalität und Einsatzbreite von Sensorsystemen entscheidend voran.



### ALEXANDER OHL

Leitung Forschung & Entwicklung  
bei Wenglor

Bild: Wenglor

**1** ■ Der zunehmende Wettbewerb durch Anbieter mit niedrigeren Kostenstrukturen erhöht den Preisdruck deutlich. Hochwertige Sensorlösungen müssen sich daher verstärkt über Qualität, Zuverlässigkeit und Zusatzfunktionen differenzieren. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an IT-Sicherheit, etwa durch regulatorische Vorgaben wie den Cyber Resilience Act (CRA). Parallel dazu erwarten Anwender eine immer einfachere Handhabung: Sensoren sollen möglichst ohne aufwendige Konfiguration einsetzbar sein. Idealerweise werden sie einfach montiert und funktionieren sofort im Sinne der jeweiligen Anwendung mit minimalem Personalaufwand.

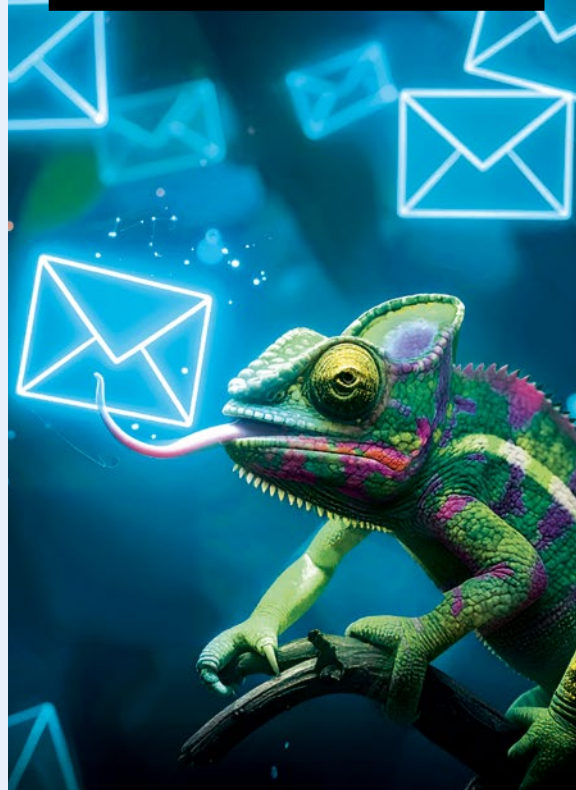
**2** ■ Die Integration von KI ermöglicht eine intelligente Auswertung von Sensordaten und sorgt für robustere Messergebnisse – auch unter anspruchsvollen Bedingungen wie Staub, Reflexionen oder elektromagnetischen Störungen. Darüber hinaus lassen sich weitere Zustände erfassen, etwa Prozessveränderungen oder frühe Abweichungen vom Normalbetrieb. Dies schafft die Grundlage für vorausschauende Wartung und reduziert ungeplante Stillstände. Insgesamt erweitert KI die Einsatzmöglichkeiten von Sensoren deutlich und ermöglicht bei komplexen Anwendungen eine höhere Flexibilität und Prozesssicherheit.

**3** ■ Zukunftstechnologien werden die Leistungsfähigkeit von Sensorsystemen weiter steigern. Sie ermöglichen neue Messprinzipien und tragen dazu bei, Genauigkeit und Kosteffizienz weiter zu verbessern. Gleichzeitig eröffnen innovative Bauteile und Konzepte neue Möglichkeiten in der Sensorentwicklung. Sensoren werden dadurch kompakter, leistungsfähiger und wirtschaftlicher einsetzbar – insbesondere dort, wo hohe Präzision und Zuverlässigkeit gefragt sind.

»Hochwertige Sensorlösungen müssen sich verstärkt über Qualität, Zuverlässigkeit und Zusatzfunktionen differenzieren.«

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

# 30 PROZENT SCHNELLER IN DER PRODUKTION

Die Bott Werkzeug- und Maschinenbau aus Wolfegg im oberschwäbischen Allgäu optimiert ihre Fertigungsprozesse mit Hilfe der Mess- und Automatisierungssoftware FormControl X von Blum-Novotest. Und erfüllt damit den hohen Anspruch ihres Geschäftsführers Jörg Osterkamp auf höchstmögliche Präzision. » VON ALF STECK



Die Bott Werkzeug- und Maschinenbau optimiert ihre Fertigungsprozesse mithilfe der Mess- und Automatisierungssoftware FormControl X von Blum. Bild: Blum-Novotest

**D**ie bei Bott auf dem Dreh-Fräszentrum Hermle C42 MT gefertigten Rohteile aus schwer zerspanbarem Edelstahl werden am externen Rüstplatz auf eine Palette montiert, die der Wechsler auf dem Rüstplatz positioniert hat. Beim Einwechseln der Palette gibt der Bediener das zum Rohling passende NC-Programm an. So füllt sich das Palettenlager, und mit der Bearbeitung kann gestartet werden. Zuerst erfasst der Messtaster hierbei den Nullpunkt der Palette, dann beginnt die Maschine, das NC-Programm abzuarbeiten. Bei einem Kombinationsflansch dauert die Bearbeitung mehr als 20 Stunden. Daher ist es besonders wichtig, Fehler frühzeitig auf der Maschine zu erkennen. Beispielsweise werden vor dem letzten Schlichtvorgang die relevanten Maße mit dem Messtaster gemessen und dementsprechend das Werkzeug mit der Mess- und Automatisierungssoftware FormControl X korrigiert.

Im Verlauf dieser hochkomplexen Bearbeitung werden in Wolfegg immer wieder wichtige Maße überprüft. Dazu wird der Messtaster wie ein Werkzeug eingewechselt und die Messpunkte abgefahren. „Uns fehlte lange eine Möglichkeit, die Form- und Lagetoleranzen zu prüfen“, blickt Norbert Leins, CAD/CAM-Programmierer und Arbeitsvorbereiter,

## DER INTEGRIERTE KONTEXT-ASSISTENT ERKENNT GEOMETRIEBEREICHE AUTOMATISCH.

zurück. „Als Blum auf uns zukam, ob wir am Betatest für FormControl X teilnehmen möchten, haben wir deshalb sofort zugesagt – weil es genau diese Merkmale messen kann. Die Software ist sehr einfach zu bedienen, und man kann schnell die ersten Messprogramme per Mausklick erstellen.“

Dazu definiert Leins im Config-Client am zuvor importierten 3D-Modell die Messpunkte. Der integrierte Kontextassistent erkennt Geometriebereiche automatisch und schlägt typische Messpunkte und Standardtoleranzen vor. Der Messjob wird dann auf den Server übertragen und von der Maschine zur Abarbeitung der Messpunkte abgerufen. Sehr gut gefallen hat Leins, dass er die in SolidWorks erstellten 3D-Modelle im CAM-System SolidCAM mit den Geometrien der Spannmittel ergänzt und diese Gesamtgeometrie dann in FormControl X übergeben kann. So ist die Spannsituation komplett abgebildet und bereits beim Erstellen der Messprogramme kann eine Kollision des Messtasters verhindert werden.

## Eine Genauigkeit von fünf Mikrometern ist wichtig für den Folgeprozess

Auch die Koordinatensysteme werden aus dem CAM-Programm übernommen. In der Software definiert der Benutzer die zu messenden Punkte und Messwerte, das sind bei Bott unter anderem Durchmesser und Nutbreiten, aber auch die Ebenheit bearbeiteter Flächen. „Und da müssen wir innerhalb von fünf Mikrometern bleiben. Diese Genauigkeit der Lage ist wichtig für den Folgeprozess, in dem die Werkstücke geschliffen werden“, erläutert Florian Bott, Teamleiter der Fräselei. „Wir müssen einerseits etwas Aufmaß für das Schleifen stehen lassen, andererseits geht es umso schneller, je weniger Aufmaß abzutragen ist. So spart die genaue Bearbeitung auf dem Dreh-Fräszentrum viel Zeit.“ Direkt in der Nähe der Maschine steht ein Rechner, an dem der Maschinenbediener die Statistiken aller Messpunkte betrachtet und bei Abweichungen sofort reagieren kann.

In der Software werden die Verfahrenswege zwischen den Messpunkten automatisch berechnet. Dabei kann der Bediener definieren, ob sie eine intelligente Messpfadoptimierung ausführen darf, um die Messzeit möglichst kurz zu halten, oder ob einfach das vorge-

gebene Programm abgefahren werden soll. Danach folgt beim Programmieren die Simulation des Messprogramms und dabei eine Kollisionskontrolle – wie beschrieben auf Basis der gesamten Spannsituation.

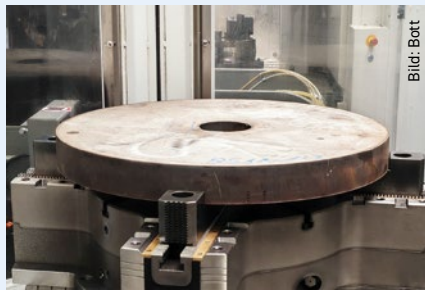
### Die statistische Prozesssteuerung trackt die Entwicklung der Messwerte

Eines der wichtigsten Features der Software ist die statistische Prozesssteuerung (Statistical Process Control; SPC). Diese Funktion ermöglicht es, die Entwicklung von Messwerten über die Zeit zu verfolgen und den Zerspanungsprozess anhand von zuvor definierten Warn- und Eingriffsgrenzen zu automatisieren. Jede Messung wird dafür in der Serverdatenbank der Software gespeichert und bei Bedarf im Webinterface angezeigt. So lässt sich beispielsweise der

### JEDE MESSUNG WIRD IN DER SERVERDATENBANK DER SOFTWARE GESPEICHERT.

Verschleiß von Werkzeugen verfolgen oder andere Ungenauigkeiten identifizieren, die aus der Maschine oder vom Prozess erzeugt werden. „Sofern gewünscht korrigiert FormControl X die Zustellwerte, um den Verschleiß der Werkzeuge zu kompensieren“, erklärt Erhard Strobel, Vertriebsingenieur bei Blum-Novotest. „In der SPC-Darstellung sieht man genau, wie das Werkzeug über die Zeit verschleißt, und kann rechtzeitig entsprechende Maßnahmen ergreifen. Die Zuordnung von Messergebnissen zum aktuellem Bauteil erfolgt dabei anhand einer eindeutigen ID.“

Alternativ bietet die Software die Möglichkeit, dass ein Werkzeug automatisch gegen ein Schwesterwerkzeug ausgetauscht wird, wenn der Verschleiß die vordefinierte Warngrenze überschreitet. Das ermöglicht die Einhaltung der Toleranzen auch im mann-



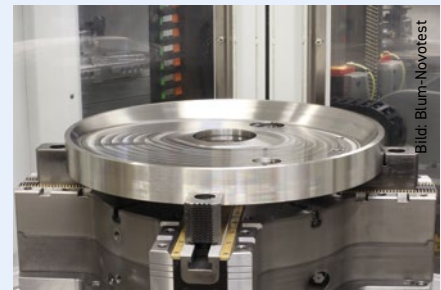
Aus dem Rohteil entsteht bei Bott dank FormControl X automatisiert und prozesssicher höchste Qualität.

losen Betrieb. Für die Werkzeugmessung und Überwachung ist in der Maschine das Lasermesssystem LC52-Digilog von Blum installiert, mit dem sowohl Fräs- als auch Drehwerkzeuge vermessen werden. So stellt Bott sowohl per Werkzeug- als auch Werkstückmessung sicher, dass die Zerspanungsprozesse zuverlässig durchlaufen.

„FormControl X macht den mannlosen Betrieb erst so richtig rund. Wenn etwas während dieser Zeit schief läuft, würden wir es oft erst merken, nachdem auch die Folgeteile falsch produziert wurden“, stellt Norbert Leins fest. „Mit der Blum-Software reagiert das System flexibel. Ist ein Weiterbearbeiten beispielsweise nach einem Werkzeugbruch nicht mehr möglich, wird die betroffene Palette gesperrt, eine neue Palette geladen und ein Schwesterwerkzeug eingewechselt – so wird die weitere Zeit genutzt.“ Und dank der Verschleißkompensation bleiben die Messwerte innerhalb der gewünschten Genauigkeit.

### Mannlos gefertigte Teile werden auf der Messmaschine überprüft

Trotzdem werden die mannlos gefertigten Teile am nächsten Morgen in Wolfegg stichprobenartig auf der Messmaschine überprüft. Das wird einerseits teilweise von den Kunden für das Lieferprotokoll so vorgeschrieben. Zudem ist nur der Messraum temperaturstabilisiert. Aber durch die mit der Software möglichen Messungen in der Maschine wird



sichergestellt, dass auf der Messmaschine ausschließlich Gutteile gemessen werden. In der Betaphase hatten die Bott-Spezialisten die Messung zusätzlich auf der Messmaschine kontrolliert, aber es zeigte sich schnell, dass die Ergebnisse übereinstimmten. Dies schaffte Vertrauen in die Software und die Messung in der Maschine.

Die Mess- und Automatisierungssoftware hat sich bei Bott nicht nur bewährt – es wurden auch die gesetzten Ziele erreicht: „So sollte die mit einem Palettenwechsler ausgestattete Maschine möglichst automatisiert rund um die Uhr laufen, zum anderen sind während und nach dem Zerspanungsprozess Maße zu kontrollieren, die nicht einfach von Hand zu messen sind“, zählt Norbert Leins auf. „Und nicht zuletzt sollten Form- und Lagetoleranzen gemessen werden, was so mit den Standard-Messzyklen nicht möglich ist.“

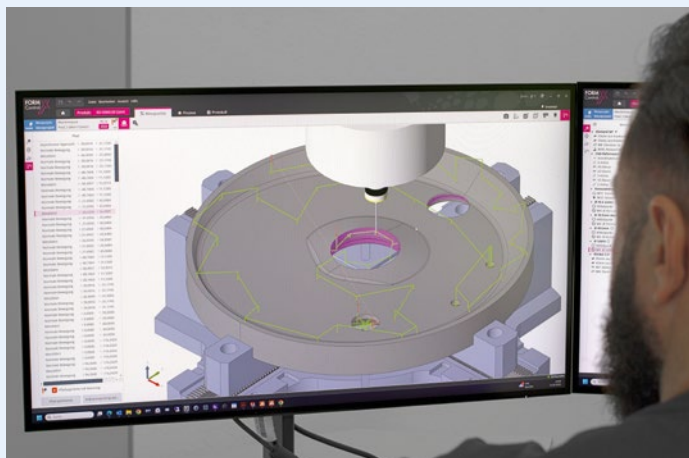
Hinzu kommen die Einsparungen im Prozess. Noch wichtiger ist für die Spezialisten jedoch, dass dieser optimal läuft. Schließlich kann der Mensch vergessen, ein Maß zu überprüfen, die Maschine aber nicht. Dass auch der Anbieter den Fertigungsprozessen vertraut, belegen die hin und wieder von Bott produzierten Zulieferteile für die Blum-Taster.

So fällt das Fazit sehr positiv aus: „FormControl X hat unsere Erwartungen erfüllt, wir konnten in der Produktion 30 Prozent Zeit einsparen und einen stabilen mannlosen Prozess etablieren. Gerade beim heutigen Facharbeitermangel ist das sehr wichtig“, fasst Jörg Osterkamp zusammen. „Dass die Präzision der Bearbeitung passt, ist für uns Grundvoraussetzung, das erfüllt die Software. Darüber hinaus brachte sie uns erhöhte Spindelzeiten und vor allem die statistische Prozesssteuerung, die uns die Transparenz und das Vertrauen in den Prozess liefert, die wir brauchen.“ Da Blum aktuell die Software an ältere Steuerungen anpasst, wird Bott die Software künftig noch auf weiteren Maschinen einsetzen. « KIS

Ralf Steck ist freier Journalist.

Bevor das Messprogramm an die Maschine übertragen wird, kann der Nutzer eine Kollisionskontrolle ausführen.

Bild: Blum-Novotest



# SCHWEISSVERZUG IN ECHTZEIT ERKENNEN

Thermische Fügeverfahren wie das Schweißen sind aus der industriellen Fertigung nicht wegzudenken. Gleichzeitig stellen sie eine wesentliche Ursache für Maßabweichungen dar. Durch den lokal eingebrachten Wärmeeintrag und die anschließende Abkühlung entstehen im Werkstück innere Spannungen, die zu geometrischen Veränderungen führen. Dieser sogenannte Schweißverzug tritt nicht erst nach Abschluss des Prozesses auf, sondern entwickelt sich bereits während der Bearbeitung.

» VON MICHAEL HESSHAUS, WIRT.-ING. (B.SC.)

In vielen Fertigungsumgebungen wird dieser Effekt jedoch erst im Nachgang erkannt – etwa durch taktile oder optische Messsysteme außerhalb des eigentlichen Prozesses. Zu diesem Zeitpunkt sind Korrekturen meist nur noch mit zusätzlichem Aufwand möglich. Ein prozessintegrierter Ansatz verfolgt daher das Ziel, Verformungen bereits während des Schweißens zu detektieren. Im Zentrum steht dabei die kontinuierliche Erfassung von Positionsänderungen an definierten Referenzpunkten des Bauteils oder der Spannvorrichtung. Auf diese Weise lässt sich der zeitliche Verlauf des Verzugs abbilden und mit Prozessparametern korrelieren.

In einer typischen Anwendung könnte ein Bauteil in einer Vorrichtung gespannt werden, während mehrere Wegaufnehmer an kritischen Bereichen positioniert sind. Diese Punkte werden gezielt dort gewählt, wo aufgrund von Geometrie, Nahtführung oder Wärmeeintrag relevante Verformungen zu erwarten sind. Während des Schweißprozesses erfassen die Sensoren kontinuierlich die Relativbewegung zwischen Werkstück und Referenzstruktur. Bereits geringe Verschiebungen liefern Hinweise auf beginnende Spannungsumlagerungen im Material.

## Verläufe identifizieren, Prozess optimieren

Ein wesentlicher Vorteil dieser Vorgehensweise liegt in der zeitlichen Auflösung der Messung. Während klassische End-of-Line-Prüfungen lediglich den Endzustand

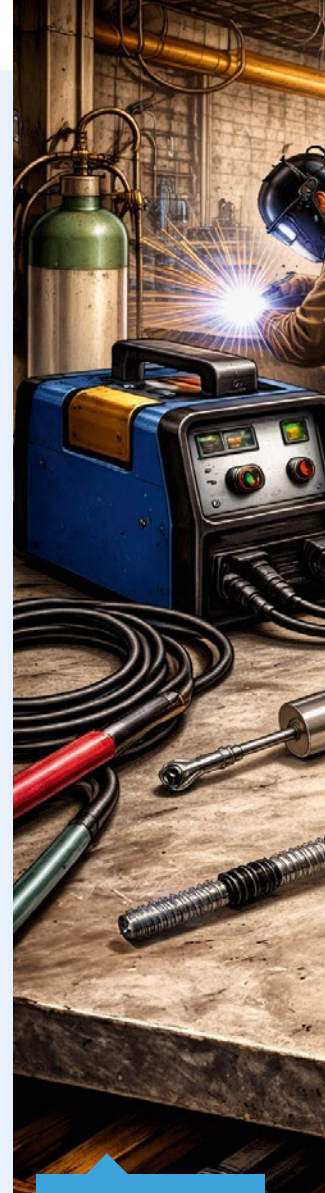
bewerten, ermöglicht die Inline-Messung eine Analyse des gesamten Entstehungsprozesses. So kann beispielsweise sichtbar werden, ob Verzug schlagartig beim Setzen einer Naht entsteht oder sich schrittweise über mehrere Prozessschritte aufbaut. Auch Rückfederungseffekte nach dem Lösen der Spannung lassen sich untersuchen, sofern die Messung entsprechend fortgeführt wird.

**ZUSAMMENFASSEND BIETET DIE INLINE-FÄHIGE ERFASSUNG VON SCHWEISSVERZUG DIE MÖGLICHKEIT, FERTIGUNGSPROZESSE TRANSPARENTER ZU GESTALTEN UND GEZIELT ZU VERBESSERN.**

Die gewonnenen Daten eröffnen neue Möglichkeiten zur Prozessoptimierung. So könnten charakteristische Verläufe identifiziert werden, die auf ungünstige Schweißreihenfolgen hinweisen. Ebenso lassen sich Unterschiede zwischen verschiedenen Spannkonzepthen oder Vorrichtungsdesigns quantifizieren. In einer erweiterten Betrachtung könnten die Messdaten mit weiteren Prozessgrößen wie Stromstärke, Schweißgeschwindigkeit

Inline-Erfassung von Schweißverzug: Induktive Wegaufnehmer detektieren Positionsänderungen in Echtzeit.

Abgebildet sind hier fünf Miniaturwegaufnehmer (SM20 und SM34), ein Spaltaufnehmer SM48, ein Gummiewegaufnehmer DST, die SM40-SM43-Serie, ein Winkelaufnehmer SM6 sowie ein Neigungssensor KAS4000 (v.l.n.r.).





oder Wärmeeintrag verknüpft werden, um systematische Zusammenhänge abzuleiten.

### Robuste Sensorik für das Schweißumfeld

Für den Einsatz in unmittelbarer Nähe des Schweißprozesses sind robuste Messprinzipien erforderlich. Optische Systeme stoßen hier häufig an Grenzen, da Rauch, Funkenflug und Verschmutzungen die Messqualität beeinträchtigen können. Induktive Wegaufnehmer bieten in diesem Umfeld deutliche Vorteile, da sie weitgehend unempfindlich gegenüber diesen Einflüssen sind. Zudem lassen sich mechanisch kompakte Bauformen realisieren, die eine Integration in bestehende Vorrichtungen erleichtern.

Die Baureihe SM40 umfasst verschiedene Varianten induktiver Wegaufnehmer mit Messwegen bis 360 mm. Die mechanisch baugleichen Sensoren unterscheiden sich in ihrer elektronischen Ausführung. Während SM41 und SM43 über eine integrierte Elektronik verfügen und eine Anpassung des Messbereichs ermöglichen, kommen SM40 und SM42 ohne integrierte Signalaufbereitung zum Einsatz. Diese Trennung erlaubt



Anschlusszubehör, der Datalogger Dydaglog und das Elektronikmodul SM12 bilden die Schnittstelle zur Erfassung, Aufbereitung und Speicherung von Sensordaten (v.l.n.r.).

Bilder: ChatGPT/Michael Heßhaus

eine flexible Anpassung an unterschiedliche Systemarchitekturen. Die erreichbare Genauigkeit von etwa 0,25 Prozent stellt sicher, dass auch kleine, prozessrelevante Positionsänderungen zuverlässig detektiert werden können.

### Messstrategie: Auswahl, Montage, Kalibrierung

Ergänzend zur Wegmessung kann der Einsatz von Neigungs- oder Beschleunigungssensoren zusätzliche Einblicke liefern. So lassen sich beispielsweise dynamische Effekte während des Schweißens erfassen, die auf plötzliche Spannungumlagerungen oder mechanische Relaxation hindeuten. Eine kombinierte Auswertung mehrerer Messgrößen ermöglicht damit ein umfassenderes Verständnis des Prozessverhaltens.

### WÄHREND KLASSISCHE END-OF-LINE-PRÜFUNGEN LEDIGLICH DEN ENDZUSTAND BEWERTEN, ERMÖGLICHT DIE INLINE-MESSUNG EINE ANALYSE DES GESAMTEN ENTSTEHUNGSPROZESSES.

Bei der praktischen Umsetzung sind jedoch einige Aspekte zu berücksichtigen. Die Auswahl geeigneter Messpunkte erfordert ein grundlegendes Verständnis der zu erwartenden Verformungsmechanismen. Eine ungünstige Positionierung kann dazu führen, dass relevante Effekte nicht erfasst oder falsch interpretiert werden. Ebenso spielt die mechanische Anbindung der Sensoren eine entscheidende Rolle. Sie muss so ausgeführt sein, dass die tatsächlichen Bauteilbewegungen präzise übertragen werden, ohne zusätzliche Verformungen oder Dämpfungseffekte einzubringen. Zudem muss trotz der berührungslosen Messung die direkte Temperatur, die auf den Sensor wirkt, reguliert werden.

### Datenflut nutzen statt verwalten

Auch die Interpretation der Messdaten stellt eine Herausforderung dar. Nicht jede gemes-

sene Positionsänderung ist zwangsläufig qualitätskritisch. Vielmehr ist eine Einordnung im Kontext des Gesamtprozesses erforderlich. Hier können Referenzmessungen und Vergleichsdaten helfen, typische Verläufe zu identifizieren und Grenzwerte abzuleiten.

Ein weiterer Aspekt betrifft die Integration in übergeordnete Systeme. Die kontinuierlich erfassten Messdaten können beispielsweise in Steuerungen oder Datenlogger eingespeist werden, um eine automatisierte Überwachung zu realisieren. Perspektivisch ist auch eine Nutzung im Sinne datengetriebener Optimierungsansätze denkbar, bei denen aus historischen Prozessdaten Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

### Von Daten zu dauerhaft besseren Prozessen

Zusammenfassend bietet die inlinefähige Erfassung von Schweißverzug die Möglichkeit, Fertigungsprozesse transparenter zu gestalten und gezielt zu verbessern. Durch die Kombination robuster Sensorik mit einer geeigneten Auswertestrategie können Verformungen nicht nur erkannt, sondern in ihrem zeitlichen Verlauf verstanden werden. Dies schafft die Grundlage für eine systematische Optimierung von Schweißprozessen und trägt dazu bei, Qualität und Effizienz nachhaltig zu steigern.

Fazit: Die inlinefähige Erfassung macht Schweißverzug im Entstehungsprozess sichtbar und ermöglicht gezielte Ursachenanalysen statt reaktiver Nacharbeit. Mit robuster Sensorik, Sensorfusion, durchdachter Messstrategie sowie korrekter Montage, Temperaturkontrolle und Datenintegration lassen sich Qualität steigern, Nacharbeit reduzieren und Prozesse optimieren.

« TB

Michael Heßhaus, Wirt.-Ing. (B.Sc.), verantwortet bei a.b.jödden den Bereich Marketing und Vertrieb.

# SCHNELLER VON DER IDEE ZUR REALITÄT

Was wäre, wenn Konstrukteure Bauteile nicht nur entwerfen, sondern ihre Leistungsfähigkeit von Anfang an selbst validieren könnten? Moderne Simulation macht genau das möglich, und zwar schnell, präzise und ohne die klassischen Umwege über Prototypen und späte Korrekturen. Wie Unternehmen wie Etteplan Oyj, Faraone und Ringer mit Simcenter diesen Wandel bereits erfolgreich umsetzen, zeigt dieser Beitrag. » VON RAVI SHANKAR

**M**an stelle sich Folgendes vor: Ein Konstrukteur entwickelt ein neuartiges Auslegerendstück für einen Harvester. Das massive Bauteil aus Stahlguss muss unter rauen Forstbedingungen extremen statischen und dynamischen Belastungen standhalten und gleichzeitig aus Effizienzgründen möglichst leicht sein. Bis vor Kurzem bedeutete der Nachweis einer solchen Idee monatelange Abstimmungen zwischen Fachabteilungen, kostspielige Prototypen und unerwartete Probleme in späten Entwicklungsphasen. Heute kann derselbe Konstrukteur das Bauteil sowohl für die additive Fertigung als auch für den Guss optimieren, das Gewicht um bis zu 66 Prozent reduzieren, die Lebensdauer validieren und sogar potenzielle Gussprobleme erkennen – noch bevor Modelle oder Formen existieren. Eine Vision? Keineswegs: Genau das ist Etteplan Oyj, einem weltweit tätigen Technologie-dienstleister, mit Simcenter Inspire gelungen.

Simulation entwickelt sich damit von einem spezialisierten Prüfschritt hin zu einer konstruktionsgetriebenen Arbeitsweise – früh genug im Entwicklungsprozess verankert, um Entscheidungen gezielt zu steuern,

Iterationen zu reduzieren und Visionen in validierte Realität zu überführen.

## Warum Konstrukteure jetzt Simulationen brauchen

Die Zahlen sprechen für sich: In jedem Unternehmen gibt es weitaus mehr Konstrukteure als Simulationsexperten, was zwangsläufig zu einem Engpass führt, der Innovationen bremst. Wenn Konstrukteure ihre Analysen selbst durchführen können, treffen sie schnellere und bessere Entscheidungen – zu einem Zeitpunkt, an dem Änderungen nur wenige Cent statt Tausende von Euro kosten. Sie können den Konstruktionsraum umfassend ausloten und mehrere Konzepte testen, bevor sie in die Detailentwicklung gehen.

Eine frühzeitige Simulation verändert den gesamten Entwicklungsprozess. Anstatt Entscheidungen erst nachträglich zu überprüfen, können Teams sie bereits während ihrer Entstehung lenken. Dieser Wandel von reaktiver Überprüfung hin zu proaktiver Erkundung verändert grundlegend, wie Produkte entworfen werden.

## Simulationswerkzeuge nahtlos integrieren

Jahrzehntlang waren Simulationswerkzeuge für Experten konzipiert, nicht für gelegentliche Anwender. Komplexe Anforderungen an die Netzgenerierung, schwer nachvollziehbare Parametereinstellungen und entkoppelte CAD/CAE-Arbeitsabläufe machten den Einsatz für Konstrukteure, deren Schwerpunkt auf Kreativität und nicht auf Analysekompetenz lag, nahezu unmöglich. Die Ergebnisse lagen oft erst spät vor, und ihre Interpretation erforderte Fachwissen.

Doch die Technologie hat sich rasant weiterentwickelt. Künstliche Intelligenz (KI)

unterstützt heute beim Modellaufbau, bei der Lastaufbringung und bei der Interpretation der Ergebnisse. Meshless-Verfahren machen die Geometrievorbereitung, die früher Wochen in Anspruch nahm, überflüssig. Die Tools lassen sich nahtlos in CAD-Umgebungen integrieren, mit denen die Konstrukteure bereits vertraut sind. Vor allem aber dauert eine Simulation heute nur noch Minuten statt Tage – schnell genug, um echte Konstruktionsentscheidungen zu beeinflussen.

## Demokratisierung in der Praxis

Der Wandel ist bereits in vollem Gange, und bei Siemens sieht man, wie Demokratisierung konkrete Ergebnisse bei unseren Kunden ermöglicht.

So erforderten klassische Finite-Elemente-Workflows bei Dumarey, einem Unternehmen für Automotive Engineering, wochenlange komplexe Baugruppenvorbereitungen und lange Rechenläufe. Durch den Einsatz der netzlosen Strukturanalyse von Simcenter Simsolid entfielen Geometrievorbereitung und Netzgenerierung – und damit die beiden zeitaufwändigsten Aufgaben. Die Entwicklungszeit sank um 75 Prozent, von vier Wochen auf eine Woche. „Kein anderes mir bekanntes Tool kann sich in puncto Geschwindigkeit und Genauigkeit bei der Strukturanalyse mit Simcenter Simsolid messen“, sagt Mario Saracino, Analysis Technical Leader bei Dumarey. „Mithilfe der blitzschnellen Konstruktionsiterationen können wir mit minimalem Mehraufwand mehrere Alternativen parallel prüfen.“

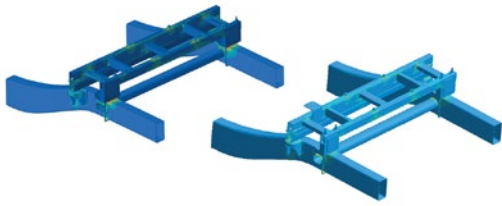
Weiteres Beispiel: Faraone, ein Hersteller von hochwertigen transparenten Architekturprodukten, benötigte ein neues Aluminiumprofilssystem für Glasgeländer. Ziel war es, das Gewicht zu reduzieren und gleichzeitig die Sicherheitsanforderungen für neue Glaselemente zu erfüllen.

Mithilfe von Simcenter Inspire führte das Team Topologiestudien durch, um Masse einzusparen und zugleich normkonforme Lastpfade beizubehalten. Anschließend validierte es die Ergebnisse schnell mit Simcenter Simsolid – ohne zeitaufwändige Geometrievereinfachung. Der Arbeitsablauf ermöglichte eine Gewichtsreduzierung um 18 Prozent und eine Steigerung der Steifigkeit um 5 Prozent; drei Validierungsanalysen wurden in weniger als 90 Minuten abgeschlossen. Vor allem verkürzte sich der gesamte Konstruktionszyklus um 40 Prozent, sodass die Iterationszeit nicht mehr Wochen, sondern Minuten dauerte.

Der Gerüsthersteller Ringer stand vor einer anderen Herausforderung: Seine Gerüstkonstruktion sollte von zwei auf sieben Stockwerke



Die KI unterstützt beim Modellaufbau, bei der Lastaufbringung und bei der Interpretation der Ergebnisse. Bild: Siemens



Durch den Einsatz von Simcenter Simsolid für die Strukturanalyse erzielt Dumarey präzise Ergebnisse wesentlich schneller, als dies mit herkömmlichen FEA-Ansätzen möglich ist.

Bild: Siemens

erweitert werden, ohne zusätzliches Gewicht einzubringen. Mit Simcenter Simsolid führten die Konstrukteure eigenständig Strukturanalysen durch, ohne auf externe Experten angewiesen zu sein, und ließen Belastungsanalysen parallel zur Konstruktion laufen. So erreichten sie ihr Ziel von sieben Stockwerken und senkten gleichzeitig die Entwicklungskosten und den Materialeinsatz – ein messbarer Beitrag der Demokratisierung.

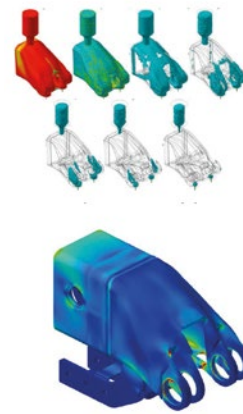
Der Automobilzulieferer Denso hat seinen Design-to-Analysis-Workflow mithilfe integrierter CAD/CAE-Vorlagen optimiert. Yuichi Kondo, Project Assistant Manager, berichtet: „Durch den Einsatz des integrierten Prozesses von NX CAD und Simcenter

3D sowie der CAE-Vorlage konnten wir den Zeitaufwand für die CAE-Analyse um bis zu 80 Prozent reduzieren.“

### Simulation als Konstruktionskompetenz begreifen

Das Zusammenspiel von Simulation, KI und High-Performance-Computing verändert, wie Teams Produkte entwerfen, testen und auf den Markt bringen. Unternehmen, die Simulation nicht als Aufgabe für Spezialisten, sondern als zentrale Konstruktionskompetenz begreifen, werden jene überholen, die an traditionellen Übergabeprozessen festhalten. Die richtige Technologie-Toolchain, gezielte Weiterbildung und ein klarer Ansatz für die KI/ML-Integration helfen Unternehmen, schneller zu werden, Kosten zu senken und die Qualität zu steigern, indem sie Simulation über Spezialistenteams hinaus zu einer unternehmensweiten Kompetenz ausbauen.

Der Weg zur Demokratisierung erfordert einen kulturellen Wandel, der über die bloße Einführung neuer Technologien hinausgeht. Unternehmen müssen ein Umfeld schaffen, das das Konzept des „Digital Thread“ umsetzt. Das heißt, relevante Akteure, Modelle



Auslegerendstück für einen Harvester. Oben: schnelle Prüfung der Herstellbarkeit (Gusserstarrung). Unten: abschließende FEM- und Ermüdungsanalyse.

Bild: Siemens

und Daten werden über den gesamten Produktentwicklungsprozess hinweg miteinander verknüpft. Dazu gehört es, funktionale Silos aufzubrechen, bereichsübergreifende Zusammenarbeit zu fördern und Arbeitsabläufe zu etablieren, die den Kontext für eine wirksame KI-Nutzung erfassen.

Mit Blick auf die Zukunft wird Agentic AI diesen Wandel noch weiter vorantreiben. Intelligente Assistenten werden Konstrukteure durch komplexe Analysen führen, Konstruktionen automatisch über mehrere Zielgrößen hinweg optimieren und die Leistung mit bisher unerreichter Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit vorhersagen. « KF

Ravi Shankar ist Director of Simcenter Product Marketing bei Siemens Digital Industries Software.

## BEREIT FÜR DEN LIFT-OFF MIT HYPERMILL

Hill Helicopters mit Sitz in Rugeley (UK) baut einen Turbinenhelikopter inklusive Getriebe- und Triebwerkssystemen komplett im eigenen Haus. Um die Bearbeitung hunderter komplexer Bauteile aus vielen Materialien mit engen Toleranzen selbst bei Konstruktionsänderungen effizient zu ermöglichen, hat sich das Unternehmen von OPEN MIND beraten lassen und setzt das CAD/CAM-System hyperMILL ein.

**UM RISIKEN** bei der Programmierung und Maschinenstillstände zu vermeiden, setzt Hill beim CAM an. Mit hyperMILL VIRTUAL Machining werden der vollständige NC-Code simuliert, die technisch beste kollisionsfreie Anstellung automatisch gefunden, Verfahrensbewegungen optimiert und komplexe Bauteile virtuell überprüft. Das Ergebnis sind schnellere Entwicklungszyklen und großes Vertrauen in die Teilefertigung. Die Technologie passt das NC-Programm genau an die Kinematik der Maschine an – selbst bei komplexen Bearbeitungszentren.

Dr. Jason Hill, Unternehmensgründer, Vorsitzender und Chefsingenieur von Hill Helicopters, erklärt: „Hill Helicopters ist Entwickler, Designer und Hersteller des fünfsitzigen Turbinenleichthelikopters HX50. Um einen effektiven Leichthelikopter für die private Luftfahrt verkaufen zu können, muss man sich ungefähr im Preisrahmen hochmotorisierter High-End-Sportwagen bewegen. Dazu kann man sich nicht auf bestehende Lieferketten der Luft- und Raumfahrtindustrie stützen. Wir mussten also eine vertikal integrierte Fertigungsstrategie ent-



ANZEIGE

Bei der NC-Programmierung für den HX50 kommt hyperMILL zum Einsatz.

Bild: Hill Helicopters

wickeln, bei der wir alles von Grund auf selbst herstellen. OPEN MIND Technologies war ein sehr wichtiger Lösungspartner, der es uns ermöglichte, komplex zu bearbeitende Bauteile aus einer Vielzahl von Materialien zu programmieren und herzustellen.“

**Mehr Informationen:**  
[www.openmind-tech.com](http://www.openmind-tech.com)

**OPEN MIND auf der ILA (Berlin Expo-Center Airport 10. – 14. Juni 2026):  
Halle A | Stand 411**

# THERMOMANAGEMENT IM ORBIT

Da sich beim Thermomanagement im Orbit viele Bedingungen experimentell kaum realistisch nachbilden lassen, verschiebt sich der Schwerpunkt bei der Entwicklung von Raumfahrtkomponenten zunehmend in Richtung Simulation. Diese ermöglicht beispielsweise bei Kleinsatelliten die Analyse thermischer Wechselwirkungen unter dem Einfluss der besonderen, dynamischen Bedingungen auf Erdumlaufbahnen. » VON DR. PHILLIP OBERDORFER

**B**eim Thema Raumfahrt liegt der Fokus meist auf medienwirksamen Projekten wie „Artemis“ oder der Internationalen Raumstation ISS. Die eigentlichen Helden des Weltraums sind jedoch so klein, dass sie in Schuhkartons passen würden: Nanosatelliten bevölkern vor allem die niedrigen Umlaufbahnen der Erde. Viele von ihnen folgen dem CubeSat-Formfaktor: Ein 1U-Satellit besteht dabei aus einem Würfel mit einer Kantenlänge von zehn Zentimetern und lässt sich zu Größen bis 24U kombinieren. Derzeit gibt es insgesamt über 12.000 aktive Satelliten in den Erdumlaufbahnen, wobei sich diese Zahl in den letzten Jahren, angetrieben durch Internet-Satellitenprojekte, verdreifacht hat. Mit dem Aufstieg des sogenannten „New Space“ wandelt sich die Raumfahrt zunehmend von einem staatlich

dominierten Forschungsfeld zu einem kommerziell geprägten Markt. Entwicklungszeiten verkürzen sich, Budgets werden knapper, doch parallel steigen die Anforderungen an Zuverlässigkeit und Performance.

## Herausforderung Thermomanagement

Ein wesentliches gemeinsames Merkmal von CubeSats und ähnlichen Designs ist ihre Kompaktheit. Die enthaltenen miniaturisierten Antennen, Sensoren, Instrumente, Akkus, Lageregelungssysteme und Kameras sind

sehr dicht gepackt und erzeugen Abwärme. Das Thermomanagement dicht gepackter elektronischer Geräte ist bereits auf der Erde eine Herausforderung. Im Vakuum des Weltalls kann die Wärme zudem nur über Strahlung abgeführt werden. Gleichzeitig führen die extremen Temperaturschwankungen zwischen der sonnenzugewandten und der sonnenabgewandten Seite sowie entlang der Umlaufbahn zu erheblichen Belastungen.

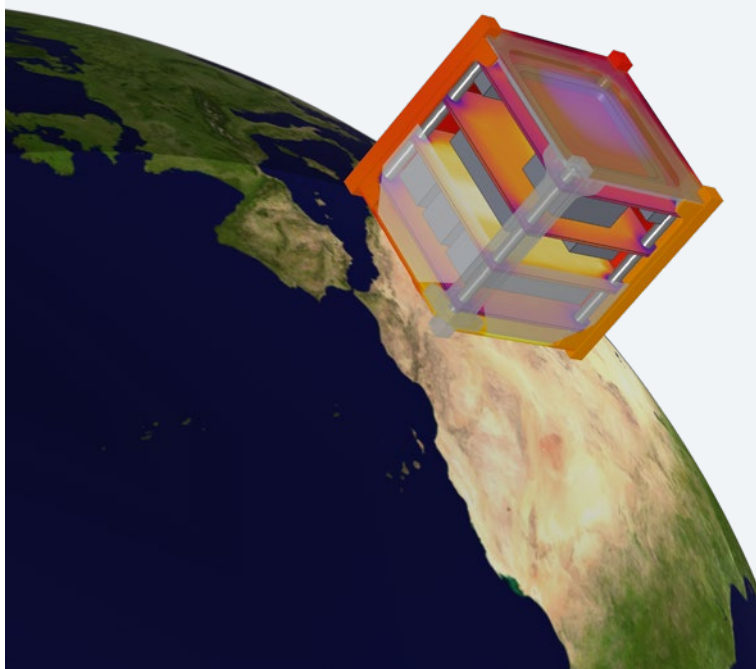
## Ein Fall für Simulation

Die Bedingungen im All lassen sich experimentell nur unter hohem Aufwand nachstellen. Zwar sind realistische Tests möglich und notwendig, doch wäre es zu aufwändig und teuer, sie im gesamten Entwicklungsprozess begleitend durchzuführen. Hinsichtlich der Kosten und des Aufwands gilt für den Einsatz von Simulationen hier eher das Gegenteil: Thermische Modelle ohne Luftströmung sind deutlich schneller und einfacher zu berechnen als Modelle, bei denen Konvektion durch Luftbewegungen eine Rolle spielt. Aus numerischer Sicht ist das Weltall der einfachere Fall. Die Simulation ermöglicht es, die komplexen Wechselwirkungen zwischen Geometrie, Materialien, Umlaufbahn und Betriebszuständen bereits in der Entwurfsphase abzubilden und zu analysieren.

## Verschiedene Modellierungsansätze

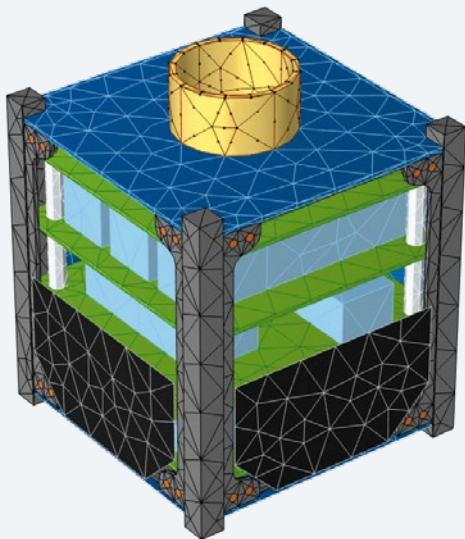
Beim Einsatz von Simulationen im Entwicklungsprozess von Nanosatelliten gibt es verschiedene Modellierungsansätze mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen. Sehr einfache Modelle reduzieren den Satelliten auf wenige thermische Knoten und liefern schnelle Abschätzungen der Gesamttemperatur. Detailliertere Modelle basieren dagegen auf der CAD-Geometrie und lösen die Wärmeleitung und -strahlung über Tausende

— DIE BEDINGUNGEN IM ALL LASSEN SICH EXPERIMENTELL NUR UNTER HOHEM AUFWAND NACHSTELLEN. —



Simulation des Wärmetransports eines Satelliten im Orbit mit der Temperaturverteilung.

Bild der Erde: Visible Earth und NASA / Bild Simulation: Comsol



**Importierte CAD-Geometrie eines CubeSat und das daraus resultierende Finite-Elemente-Netz nach etwas Defeaturing und Vereinfachung.**

Bild: Comsol

oder Millionen von Elementen räumlich auf. In der Praxis bewegt man sich zwischen diesen Extremen. So fasst man Komponenten wie Elektronikmodule oder Batterien häufig zu homogenen Blöcken zusammen, während kritische Schnittstellen wie thermische Kontakte genauer beschrieben werden.

## BEIM EINSATZ VON SIMULATIONEN IM ENTWICKLUNGSPROZESS VON NANOSATELLITEN GIBT ES VERSCHIEDENE MODELLIERUNGSANSÄTZE MIT UNTERSCHIEDLICHEN VOR- UND NACHTEILEN.

Neben der Modellierungstiefe ist vor allem die Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen entscheidend für die Aussagekraft der Ergebnisse. Die Umlaufbahn bestimmt, wann ein Satellit direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist und wann er in den Erdschatten eintritt. Der Übergang zwischen diesen beiden Situationen führt innerhalb kurzer Zeit zu starken Temperaturänderungen. Gleichzeitig spielt die Ausrichtung eine wesentliche Rolle: Schon kleine Änderungen in der Orientierung können dazu führen, dass empfindliche Komponenten stärker aufgeheizt oder unzureichend gekühlt werden. Besonders anspruchsvoll ist die Beschreibung des Strahlungsaustauschs. Im Orbit ist die Sonne die dominierende Energiequelle, ihre

Strahlung liegt überwiegend im kurzwelligen Bereich. Der Satellit selbst gibt Wärme hingegen im langwelligen Infrarotbereich ab. Diese Unterschiede werden gezielt genutzt, indem man die Oberflächenbeschichtungen so auslegt, dass sie die Sonnenstrahlung möglichst wenig absorbieren, aber die eigene Wärmestrahlung effizient abgeben. Dies sind ebenfalls Effekte, die sich je nach Position über der Erdoberfläche sowie im Zeitverlauf verändern. Für genaue Vorhersagen müssen sie in einem Modell berücksichtigt werden.

### Realistische Temperaturverläufe berechnen

Ein weiterer, nicht zu unterschätzender Faktor ist die interne Wärmeentwicklung. Elektronische Komponenten, Batterien oder Kommunikationssysteme arbeiten nicht kontinuierlich, sondern werden abhängig von Missionsphasen und Betriebszuständen aktiviert. Dadurch entstehen zeitlich variable Wärmequellen im Inneren des Satelliten. In der Simulation lassen sich solche Lastprofile gezielt berücksichtigen, um realistische Temperaturverläufe über mehrere Umläufe hinweg zu berechnen. Sind alle relevanten Einflüsse im Modell abgebildet, liefern die Simulationen nicht nur globale Temperaturwerte für den gesamten Satelliten, sondern auch detaillierte räumliche Verteilungen und zeitliche Verläufe. Damit lässt sich überprüfen, ob man alle Komponenten innerhalb ihrer zulässigen Temperaturbereiche betreiben

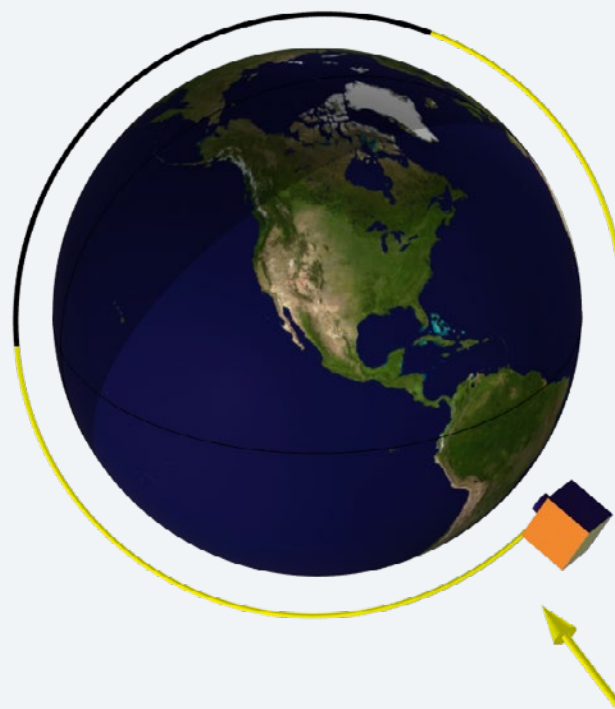
kann. Diese Ergebnisse können bei Bedarf auch die Grundlage für weiterführende Analysen bilden, etwa zur Bewertung thermisch induzierter Verformungen oder deren Einfluss auf optische Systeme.

Der Modellierungsansatz bietet nicht nur vor dem Start, sondern auch im laufenden Betrieb Vorteile. Da reale Tests im Weltraum nur eingeschränkt möglich sind und es zu unerwarteten Situationen kommen kann, bleibt das thermische Modell auch nach dem Start ein wichtiges Werkzeug. Es lässt sich einsetzen, um alternative Betriebsstrategien zu bewerten, Ausfälle zu kompensieren oder die Lebensdauer des Satelliten gezielt zu verlängern.

Fazit: Das Thermomanagement im Orbit ist eine Aufgabe, die eine systemische Designherausforderung unter extremen Randbedingungen darstellt. Da sich viele dieser Bedingungen experimentell kaum realistisch nachbilden lassen, verschiebt sich der Schwerpunkt bei der Entwicklung von Raumfahrtkomponenten zunehmend in Richtung Simulation. Diese ermöglicht die Analyse thermischer Wechselwirkungen unter dem Einfluss der besonderen, dynamischen Bedingungen auf Erdumlaufbahnen. Gerade bei Kleinsatelliten, bei denen Bauraum, Energie und Masse strikt begrenzt sind, ist dieses Verständnis für die Entwicklung, die Funktionalität und die Lebensdauer hilfreich.

« RT

Dr. Phillip Oberdorfer ist Technology Communication Manager bei Comsol Multiphysics.



**Visualisierung eines Satelliten in der Umlaufbahn, mit Angabe seiner Position und Ausrichtung im Verhältnis zur Sonne und Erde sowie der Sonneneinstrahlung auf die dem Sonnenlicht ausgesetzten Seiten des Satelliten.**

Bild der Erde: Visible Earth und NASA / Bild Simulation: Comsol

# TRANSPORTDROHNEN SCHNELLER UND KOSTENGÜNSTIGER ENTWICKELN

Der Transport medizinischer Güter und zeitkritischer Waren ist oft teuer, riskant und nicht überall realisierbar.

Mit unbemannten, hybrid-elektrischen Drohnen entwickelt Dufour Aerospace eine Alternative, die Effizienz, Reichweite und Sicherheit vereint. Gleichzeitig setzt das Unternehmen auf cloudbasierte Entwicklungslösungen, um komplexe Systeme schneller und wirtschaftlicher zur Marktreife zu bringen. » VON MICHAEL FALKENSTEINER



Die hybrid-elektrische Drohne kann Hunderte von Kilometern zurücklegen und Nutzlasten von bis zu 20 Kilogramm transportieren.

einander verbunden waren. Händische Exporte, tabellenbasierte Workflows und eine fragmentierte Kommunikation zwischen Konstruktion und Fertigung führten mit wachsendem Team und zunehmender Komplexität der Projekte zu Reibungsverlusten.

Als sich Dufour zu einem vollwertigen Luft- und Raumfahrt-OEM entwickelte, benötigte das Unternehmen eine moderne Lösung für die Konstruktion und das Datenmanagement. Dufour entschied sich für die Cloud-basierte CAD- und PDM-Lösung Onshape und die ebenfalls Cloud-basierte PLM-Lösung Arena von PTC.

„Als Start-up in der Luft- und Raumfahrt, das sich zu einem vollwertigen Konstruktionsunternehmen entwickelt, ist es für uns entscheidend, Tools zu haben, mit denen wir unsere Konstruktionsdaten kontrolliert weitergeben können. Die Kombination aus Onshape und Arena ermöglicht es uns, diesen Übergang reibungslos zu vollziehen, agil zu bleiben und komplexe Drohnen zu liefern, die den Kundenanforderungen ent-

**M**edizinische Versorgungsgüter, Notfallequipment oder zeitkritische Waren werden meist per Flugzeug oder Hubschrauber transportiert. Das ist effektiv, aber aufgrund des nötigen Bordpersonals und der Infrastruktur am Boden mit hohen Kosten verbunden und nicht für alle abgelegenen Regionen geeignet. Zudem sind günstige Betriebsbedingungen erforderlich, sodass die Flüge mit Risiken verbunden sind.

Deshalb entwickelte das Schweizer Unternehmen Dufour Aerospace eine neue Lösung: unbemannte, hybrid-elektrische Drohnen, die Hunderte von Kilometern zurücklegen und Nutzlasten von bis zu 20 Kilogramm transportieren können. Sie starten und landen wie Hubschrauber, erreichen jedoch die Geschwindigkeit, Effizienz und Sicherheit von Flugzeugen. Damit verbinden

sie hohe Sicherheitsstandards mit niedrigen Betriebskosten.

## Integrierte Entwicklung als Herausforderung

Die Produktentwicklungszyklen von Dufour erfordern eine enge Integration von Software, Hardware, Strukturen und Zertifizierungsanforderungen. Zur Verwaltung von Konstruktionsdaten, Teilenummern und Freigaben nutzte das Unternehmen anfangs manuelle Prozesse und Tools, die nicht mit-

Als sich Dufour zu einem vollwertigen Luft- und Raumfahrt-OEM entwickelte, benötigte das Unternehmen eine moderne Lösung für die Konstruktion und das Datenmanagement.



sprechen“, erklärt Manuel Flepp, Head of Structures, Dufour Aerospace.

### Schnellere Entwicklung mit Cloud-nativem CAD und PDM

Dufour hat Onshape eingeführt, um seine schnellen, iterativen Entwicklungszyklen zu unterstützen. Ingenieure können komplexe, mehrteilige Systeme in einer einzigen Umgebung konstruieren, Bauteile kontextbezogen erstellen und Baugruppen durch direkte Freiraum- und Schnittstellenprüfungen frühzeitig validieren.

Onshape ist über jeden Browser verfügbar und mehrere Teammitglieder können in Echtzeit von jedem Ort und Gerät aus zusammenarbeiten. „Mit dem Follow Mode fühlt es sich an, als säße man im selben Raum“, ergänzt Tamara Hager, Design Team Lead bei Dufour Aerospace. Ohne die herkömmlichen Datei-basierten CAD Check-in-/Check-out-Abläufe lassen sich Entwürfe ganz einfach teilen, Änderungen prüfen und Probleme beheben – ohne Downloads, Dateiübertragungen oder lokalen Hardwareinstallationen.

Durch die integrierte Produktdatenverwaltung ermöglichen die automatische Versionsverwaltung und der Revisionsverlauf den Ingenieuren, Konstruktionsalternativen sicher zu untersuchen. Denn Änderungen sind vollständig nachvollziehbar und wiederherstellbar.

„Man kann sehen, welche Teile freigegeben sind und welchen Status sie haben. Dank der integrierten Rückverfolgbarkeit ist jeder über Änderungen informiert“, so Tamara Hager. „Selbst wenn es eine neue Version gibt, sieht man genau, was sich geändert hat. Das ist für die Versionierung und die Vermeidung von Fehlern äußerst wichtig.“

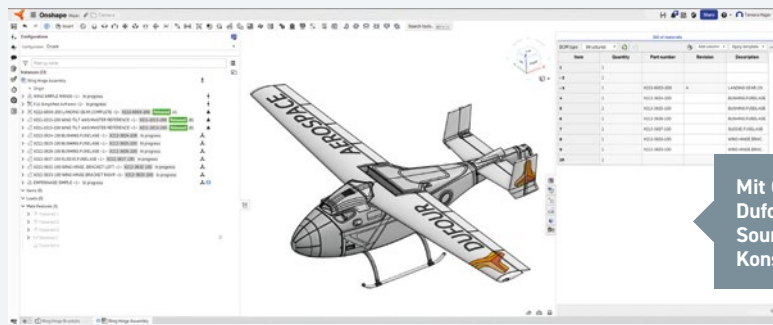
### 100.000 US-Dollar jährlich eingespart

On-Premise CAD-Systeme erfordern oft teure Lizenzen, leistungsstarke lokale Workstations und eine komplexe IT-Infrastruktur. Mit wachsenden Teams steigen die Kosten hierfür schnell.

Nach Schätzung von Dufour spart das Unternehmen durch Onshape jährlich rund 100.000 US-Dollar an CAD-Lizenz- und Infrastrukturkosten im Vergleich zu herkömmlichen CAD-Systemen. Diese Einsparungen ermöglichen weitere Investitionen in technische Innovationen.

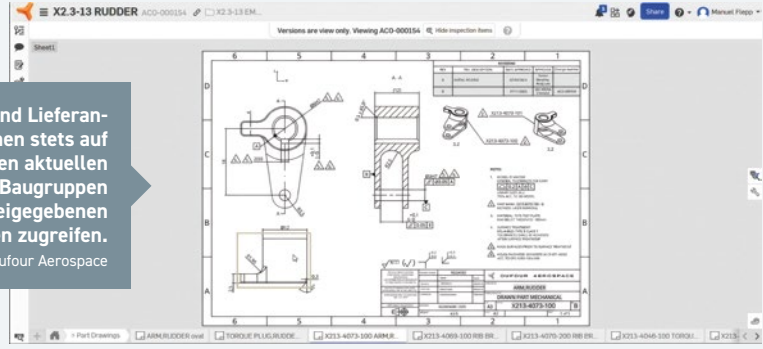
### Weniger Abstimmung, mehr Geschwindigkeit

Bevor Dufour die Onshape-Arena-Anbindung eingeführt hatte, waren die Fertigungsteams



Mit Onshape schuf Dufour eine Single Source of Truth für Konstruktionsdaten.

Ingenieure und Lieferanten können stets auf dieselben aktuellen Modelle, Baugruppen und freigegebenen Zeichnungen zugreifen.  
Bild: Dufour Aerospace



oft auf die Konstrukteure angewiesen, um Zeichnungen zu finden, Revisionsstände zu bestätigen oder Schnittstellen zu erläutern. Mit dem Wachstum des Unternehmens nahmen Umfang und Komplexität dieser Anfragen erheblich zu, was beide Teams ausbremste.

Mit Onshape schuf Dufour eine Single Source of Truth für Konstruktionsdaten. Durch die Integration dieser Daten in Arena PLM können Ingenieure, Fertigung und Lieferanten immer sofort auf dieselben aktuellen Modelle, Baugruppen und freigegebenen Zeichnungen zugreifen. Dufour schätzt, dass die Anfragen nach Konstruktionsdaten und die Kommunikation zwischen Konstruktions- und Fertigungsteams dadurch um etwa 50 Prozent zurückgegangen sind. „Seit wir Arena eingeführt haben, ruft uns die Fertigung nicht mehr an, um Zeichnungen zu finden“, berichtet Manuel Flepp.

### Automatisierte Teilefreigabe für mehr Entwicklungszeit

Auch die Arbeitsabläufe bei der Teilefreigabe nahmen wertvolle Entwicklungszeit in Anspruch und bargen Fehlerquellen: Die Ingenieure erstellten Teilenummern manuell in Excel-Tabellen, exportierten Zeichnungen und 3D-Modelle und verteilten die Dateien dann über externe Cloud-Speicher an die Lieferanten.

Durch die direkte Anbindung von Onshape an Arena werden Teilenummern automatisch generiert und synchronisiert, freigegebene Teile sowie Zeichnungen werden ohne weiteren Aufwand seitens des Konstruktionsteams direkt in Arena übertragen. Stücklisten wer-

den in einem einzigen, verbindlichen System erstellt und gepflegt, sodass die Konsistenz zwischen Konstruktion, Fertigung und Lieferkette gewährleistet ist.

„Wir nutzen Onshape in unserem täglichen Konstruktionsablauf und Arena, wenn wir ein Teil für die Fertigung freigeben. In diesem Moment werden Teile und Zeichnungen mit Arena synchronisiert und auf kontrollierte Art und Weise an die Lieferkette weitergegeben“, erklärt Manuel Flepp.

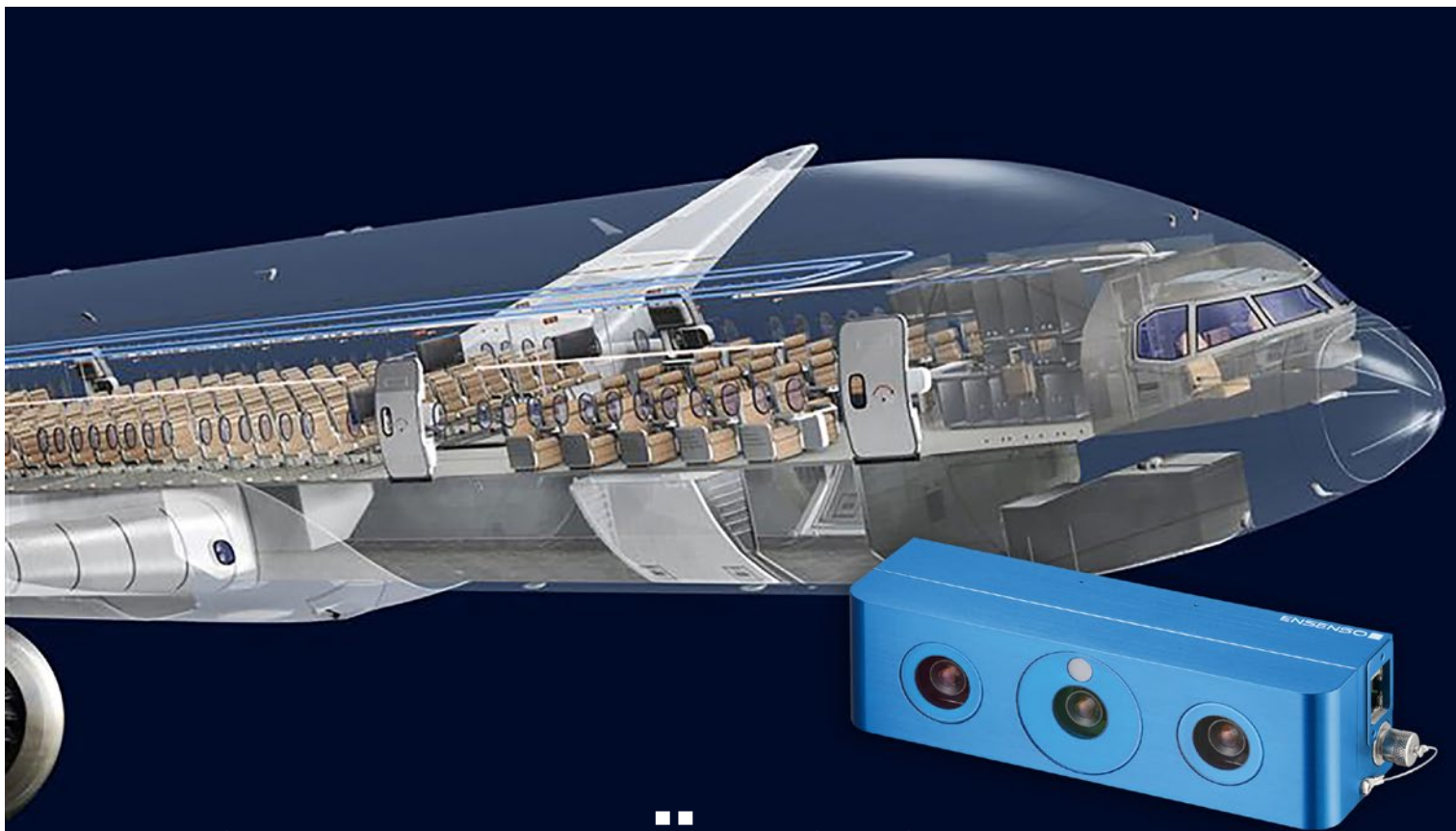
Der automatisierte Workflow spart zwei bis drei Stunden pro Freigabe, weil die manuelle Verwaltung von Teilenummern entfällt. Hinzu kommen nochmal drei bis fünf Stunden pro Freigabe, weil die manuelle Datenverteilung an Lieferanten nicht mehr nötig ist. Insgesamt spart Dufour also bis zu acht Stunden pro Teilefreigabe. Das ermöglicht den Ingenieuren, sich auf die Produktentwicklung zu konzentrieren statt auf administrative Aufgaben.

### Fundament für Wachstum und Innovation

Die Mission von Dufour Aerospace, zuverlässige unbemannte Drohnen mit großer Reichweite für kritische Transporte bereitzustellen, hängt von Schnelligkeit, Präzision und Vertrauen in die Konstruktionsdaten ab. Durch den Einsatz von Onshape und dessen Anbindung an Arena hat das Unternehmen ein digitales Fundament gelegt, das Zusammenarbeit, Rückverfolgbarkeit und kontrolliertes Wachstum fördert.

« KF

Michael Falkensteiner ist Principal Technical Services Engineer bei Onshape, PTC, EMEA.



# DIGITALE PRÄZISION IM FLUGZEUGBAU

Ein innovativer und vollständig digital vernetzter Prozess soll die Fertigung von Flugzeugkabinen auf ein neues Niveau heben. Eine zentrale Rolle spielt dabei eine Ensenso 3D-Kamera von IDS Imaging Development Systems, die eine hochpräzise Erfassung und exakte Ausrichtung der Bohrpositionen ermöglicht. » VON SABINE TERRASI

**Z**iel des Projekts DiCADeMA (Digital Cabin Architectures and Design for Manufacturing) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) ist es, den digitalen Faden von der Konstruktion bis in die Fertigung durchgängig zu spannen. Änderungen im Kabinendesign, etwa bei Sitzabständen und der damit verbundenen neuen Position der Gepäckfächer, werden direkt in den digitalen Konstruktionsdaten erfasst und automatisch in die Fertigungsplanung übernommen. Simulationen ermöglichen es, diese Varianten zu prüfen, bevor überhaupt ein physisches Bauteil entsteht. Sobald die digitale Validierung abgeschlossen ist, kann die Produktion unmittelbar starten.

Um diesen digitalen Prozess greifbar zu machen, wurde ein automatisiertes System zur Markierung von Bohrpositionen an einem Mock-up einer Flugzeugrahmenkonstruktion entwickelt. Hier arbeiten mehrere vernetzte

Systeme Hand in Hand: Ein autonomer mobiler Roboter (AMR) fährt den Rahmen an und positioniert sich in der Nähe der Zielstelle. Auf ihm ist ein Leichtbauroboter montiert, der die Markiereinheit samt 3D-Kamera an die Aufnahmeposition bringt. Dort übernimmt die Ensenso-Kamera die Feinarbeit. Ein integriertes Manufacturing Execution System (MES) steuert alle Teilprozesse.

## Die Rolle der 3D-Kamera

Die eingesetzte Kamera, eine Ensenso N36, erfasst die Umgebung als dreidimensionale Punktwolke und gleicht diese mit den CAD-Daten des Flugzeugrahmens ab. Auf diese Weise lassen sich selbst kleinste Abweichungen zwischen dem Soll-Modell und der realen Geometrie erkennen. Aus diesen Daten berechnet das System präzise Korrekturwerte, die an das übergeordnete MES übermittelt werden. Die Kommunikation erfolgt dabei über eine standardisierte OPC

UA-Schnittstelle, die den reibungslosen und sicheren Datenaustausch zwischen Kamera, Roboter und Steuerungssystem ermöglicht. Das MES übersetzt die gewonnenen Informationen in konkrete Steuerbefehle für den Roboter, der daraufhin die Markierung der Bohrstelle ausführt.

**PRODUKTIONSZEITEN WERDEN DEUTLICH VERKÜRZT, DA KEINE MANUELLEN MESSUNGEN ODER NACHJUSTIERUNGEN MEHR NOTWENDIG SIND.**

Der autonome Roboter erreicht eine Positioniergenauigkeit von rund fünf Millimetern. Damit kann die Aufnahmeposition für die Kamera kollisionsfrei erreicht werden. Die Ensenso Kamera wird zum wichtigen Binde-

◀ In der modernen Flugzeugproduktion ist Präzision entscheidend, denn jede Bohrung und jeder Befestigungspunkt muss exakt sitzen, um Sicherheit und Qualität zu gewährleisten. Im Bild zu sehen: die Ensenso N36.

Bild: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V & IDS Imaging Development Systems GmbH

glied zwischen digitalem Entwurf und realer Fertigung: Sie erkennt lokale Geometrien, hier mehrere Niete und die Fläche, auf der die Niete gesetzt wurden, und vergleicht die erfassten Punktwolken mit den Referenzdaten aus dem CAD. Dieser Vergleich ist u.a. Mithilfe der Hand-Auge-Kalibrierung und einem iterativen Minimierungsverfahren möglich. Als Ausgabe wird eine Transformationsmatrix zur Verfügung gestellt, die die exakte Korrektur der Bohrposition beschreibt. Die Bohrposition wird mit dem Korrekturwert beaufschlagt und kann exakt gesetzt werden. Ein Arbeiter folgt dem Fahrzeug und bohrt das Loch direkt im Anschluss an der markierten Stelle. Dieser Vorgang wird für jeden Installationspunkt wiederholt, während Roboter und Mensch sicher in unmittelbarer Nähe zueinander arbeiten können.

### Präzision auf engem Raum

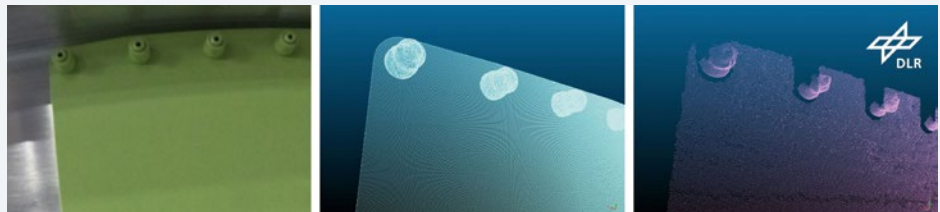
Für den vorliegenden Anwendungsfall im Flugzeugbau ist eine kompakte Kamera mit sehr geringem Fokusabstand erforderlich, um den Weg von der Aufnahmeposition zur Bohrposition möglichst kurz zu halten. Dadurch bleibt eine hohe Genauigkeit erhalten und übermäßige Roboterbewegungen werden vermieden. Die Ensenso N36 bietet diese Eigenschaften. Die Ensenso N-Serie wurde speziell für den Einsatz unter anspruchsvollen Umgebungsbedingungen entwickelt. Dank ihrer kompakten Bauform lässt sie sich platzsparend sowohl stationär als auch mobil auf einem Roboterarm installieren. So eignet sie sich gleichermaßen zur 3D-Erfassung bewegter wie auch statischer Objekte. Der integrierte Projektor sorgt selbst bei schwierigen Lichtverhältnissen für eine kontrastreiche Textur: Er projiziert mithilfe einer Pattern-Maske mit zufälligem Punktemuster zusätzliche Strukturen auf die Objekt Oberfläche und ergänzt damit fehlende oder nur schwach vorhandene Merkmale. Alle Kameras sind ab Werk vorkalibriert und lassen sich daher schnell und unkompliziert in Betrieb nehmen.

### Nutzen für die Fertigung

Der digitale Prozess bietet dem DLR gleich mehrere Vorteile. Durch die kameragestützte Ausrichtung steigen Präzision und Wiederholgenauigkeit deutlich. Gleichzeitig ermöglicht die durchgängige Datenerfassung eine lückenlose Dokumentation und Rückverfolgbarkeit der Arbeitsschritte. Montagepersonal wird entlastet, da der Roboter die zeitaufwendige Positionsbestimmung übernimmt, während die Fachkräfte sich auf den eigentlichen Montagevorgang konzentrieren können. Hinzu kommt die deutliche Verkürzung der Produktionszeiten, da keine manuellen Messungen oder Nachjustierungen mehr notwendig sind.

### Kamera und mathematische Verfahren weiter optimieren

Die Demonstration am Mock-up zeigt, welches Potenzial in der Kombination aus digitaler Prozesskette, Robotik und 3D-Bildverarbeitung steckt. In weiteren Projektschritten sollen die Genauigkeit des Sys-



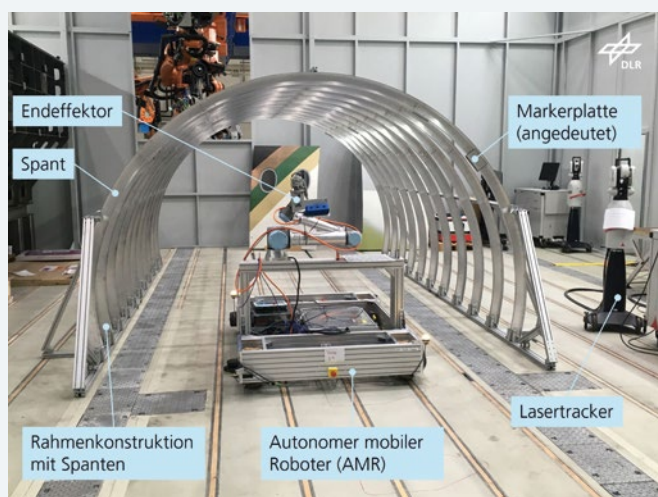
Verschiedene Ansichten einer Platte mit Nieten: reale Platte (links), CAD-Punktwolke (Mitte), 3D-Kamera-Punktwolke (rechts).

Bilder: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

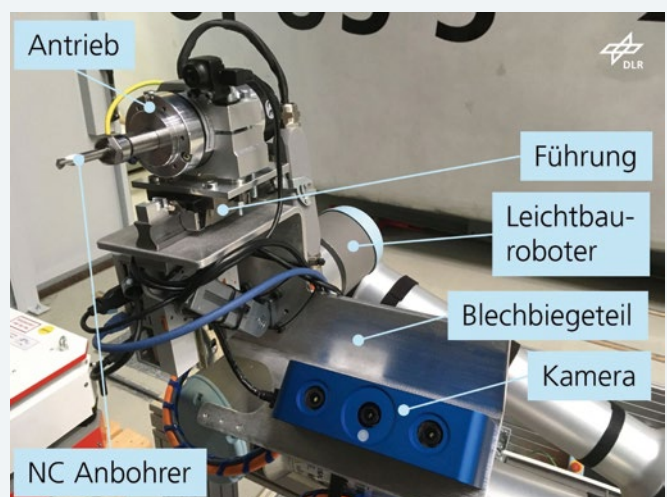
tems und die Leistungsfähigkeit der Auswertungsalgorithmen noch näher untersucht werden. Dabei geht es nicht nur um die Kamera selbst, sondern auch um die Optimierung der mathematischen Verfahren, mit denen Soll- und Ist-Punktwolken abgeglichen werden. Was heute im Flugzeugbau erprobt wird, kann künftig auch in anderen Industrien zum Einsatz kommen. Das System zeigt dabei eindrucksvoll, wie optische Sensorik und intelligente Software gemeinsam den Weg in eine neue Ära der Fertigung ebnen: vernetzt, effizient und auf den Punkt genau.

« KF

Sabine Terrasi ist Communication Specialist - Corporate & Product bei IDS Imaging Development Systems.



Rahmenkonstruktion und mobiler Roboter inklusive Aufbauten.



Leichtbauroboter mit Markiereinheit und 3D-Kamera.

# KI-MODELLE SENKEN CFD-KOSTEN MASSIV

Syntegon demonstriert im Pilotprojekt FlowROM, wie KI-gestützte Reduced Order Models kombiniert mit High-Performance-Computing den Rechenaufwand für CFD-Studien drastisch senken können. U-Net-Architekturen auf HLRS-Ressourcen erzeugen geometrieunabhängige, physikintegrierte Modelle – schnellere Entwicklungszyklen, deutlich geringerer Energiebedarf und Aussicht auf Echtzeit-Simulationen. » VON DR. ANDREAS WIERSE



Ein Mitarbeiter in Schutzkleidung bedient unter Reinraumbedingungen eine pharmazeutische Produktionsanlage über ein Touchpanel.

Bilder: Syntegon

und das Projektmanagement zunehmend heraus. Die Methode war sehr rechenintensiv, band Rechenkapazitäten über Wochen und verzögerte so Projektabwicklungen. Denn Strömungsberechnungen erzeugen insbesondere bei realitätsnahen Modellen und feinen Gitterauflösungen enorme Datenmengen. „Um diese beträchtlichen Einschränkungen zu überwinden und schnell zukunftsichere Methoden zu finden, wollten wir unsere CFD-Simulationen durch KI-gestützte Modelle deutlich schneller und auch ressourcenschonender nutzbar machen“, sagt Dipl.-Ing. Ralph Eisenschmid, Verfahrenstechnikingenieur bei Syntegon Technology. „Das Verhältnis von Aufwand und Output war nicht wirtschaftlich. Das galt es zu ändern, gemeinsam mit unserem langjährigen Partner Sicos BW.“

**S**trömungssimulationen, auch Computational Fluid Dynamics (CFD) genannt, spielen als leistungsfähiges Werkzeug zur Simulation komplexer Strömungsvorgänge im Pharmaanlagenbau eine Schlüsselrolle. Die Erzeugung realitätsnaher CFD-Modelle mit feiner Gitterauflösung ist jedoch äußerst rechenintensiv. Parametrische Studien beanspruchen mehrere Wochen Rechenzeit und führen schnell zu Engpässen.

## Frühe Simulation gegen spätere Prozessrisiken

Syntegon Technology, Anbieter von Verpackung- und Prozesslösungen für die Pharma-, Biotech- und Lebensmittelindustrie, stieß mit der bisherigen CFD-Methodik an ihre Grenzen. Das Unternehmen mit Sitz in Stuttgart nutzt CFD-Simulationen als zentrales Werkzeug bei der Auslegung und Opti-

mierung von sterilen Laminar-Flow-Systemen für die aseptische Befüllung von Pharma-Produkten. Damit lässt sich das Verhalten der Luftströmung bereits in einer frühen Entwicklungsphase virtuell analysieren, und Auffälligkeiten werden sichtbar. Bei der Auslegung steriler Laminar-Flow-Systeme kommt es auf ein exakt kontrolliertes Strömungsbild an. Schon kleinste Verwirbelungen, Abschattungen oder inhomogene Luftgeschwindigkeiten können die Schutzwirkung in kritischen Prozesszonen beeinträchtigen. Die 6.900 Mitarbeitenden von Syntegon Technology entwickeln innovative und nachhaltige Technologien und unterstützen Pharmaunternehmen bei der Realisierung effizienter Produktionsprozesse.

## Rechenzeit als Wachstumsbremse

Die wachsende Zahl erforderlicher CFD-Simulationen forderte das Syntegon-Engineering, die Vertriebsprojektierung

## FlowROM: Syntegon erhält Förderung

Syntegon beantragte erfolgreich Unterstützung für die Umsetzung eines Pilotprojekts zur Verbesserung der Ressourceneffizienz mit Hilfe von High-Performance-Computing (HPC) und Künstlicher Intelligenz (KI) beim AI-Explorer des Fraunhofer Instituts IAO/IPA Stuttgart und beim Förderprojekt RescHKI. „RescHKI – Ressourceneffizient mit HPC und KI“ zielte darauf ab, möglichst viele Unternehmen und Institutionen, insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU)

» WIR ERWARTETEN, DASS DIE BENÖTIGTEN ERGEBNISSE UM DEN FAKTOR 100 BIS 1.000 SCHNELLER ERREICHT WERDEN KÖNNEN, BEI ENTSPRECHEND WENIGER BENÖTIGTEN RESSOURCEN. «

DIPL.-ING. RALPH EISENSCHMID

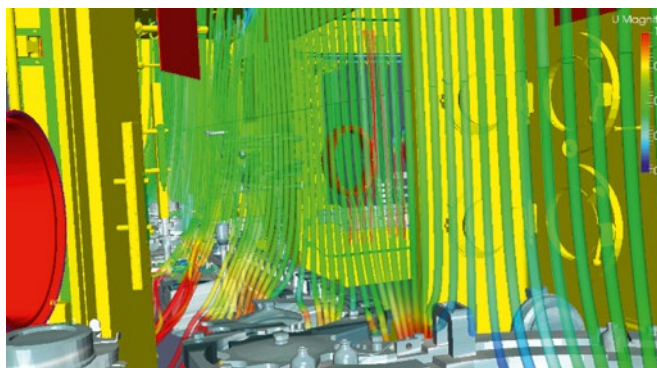
sowie die öffentliche Verwaltung, für die Vorteile der Nutzung von Hochleistungsrechnen und Simulationen sowie von Data Analytics und Künstlicher Intelligenz im Bereich der Ressourceneffizienz zu sensibilisieren und sie bei ersten Schritten in diesem Bereich zu unterstützen.

Gefördert wurde das Vorhaben vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Ziel war es, das Thema Ressourceneffizienz weiter voranzutreiben und anhand konkreter Anwendungsfälle messbare Ressourceneinsparungen zu erzielen. Erste Beratungen führte die Sicos BW gemeinsam mit dem Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS) durch.

### Reduced Order Models als Lösung

Unter dem Namen „FlowROM“ startete das RescHKI-Pilotprojekt mit einer klaren Zielsetzung: Anstatt jede Geometrievariante mit einer vollständigen, rechenintensiven CFD-Simulation zu berechnen, sollen KI-gestützte Reduced Order Models (ROM) entwickelt werden, die die physikalischen Zusammenhänge komplexer Strömungsfelder in einem Bruchteil des Rechenaufwands abbilden. ROMs reduzieren die Komplexität der Simulationen. Sie erfassen nur die wesentlichen physikalischen Informationen bei drastisch reduziertem Rechenaufwand. Ein besonderer Fokus lag auch auf der Geometrie-Unabhängigkeit. Bisherige Methoden verwendeten stets parametrisierbare Geometrien, was die universelle Anwendbarkeit einschränkte. „Wir erwarteten, dass die benötigten Ergebnisse um den Faktor 100 bis 1.000 schneller erreicht werden können, bei entsprechend weniger benötigten Ressourcen“, sagt Eisenschmid. Wichtig war es, einen Ansatz zu entwickeln, der ein gutes Gleichgewicht zwischen Modellkomplexität und Recheneffizienz bietet.

Das Stuttgarter Unternehmen konnte mit langjähriger Erfahrung im Einsatz von HPC auf Rechenressourcen des Stuttgarter HLRS sowie eigener fachlicher Expertise aufwarten. Im ersten Schritt testete Syntegon verschiedene neuronale Netzwerkarchitekturen mit Simulationsdaten zufälliger 2D-Muster, die in großer Menge parallel auf Workstations und auf HPC-Ressourcen am HLRS erzeugt wurden. Um Geometrie-Unabhängigkeit zu erreichen, definierten die Projektbeteiligten den Strömungsraum als zweidimensionalen, dimensionslosen Einheitswürfel. Die gesamte Geometrie wurde durch binäre Voxel (diskrete Zellen) innerhalb dieses Raums kodiert.



Die gängige Visualisierung einer CFD-Simulation eines Isolators zeigt Strömungslinien und Geschwindigkeitsverteilungen innerhalb der sterilen Arbeitskammer.



**DR. ANDREAS WIERSE:**

„Die wachsende Zahl erforderlicher CFD-Simulationen forderte das Syntegon-Engineering, die Vertriebsprojektierung und das Projektmanagement zunehmend heraus.“ Bild: JWW

### U-Net als optimale Architektur

Als vorläufig optimale Netzwerkarchitektur hat sich die U-Net-Architektur erwiesen: ein Convolutional Neural Network mit Encoder-Decoder-Struktur und Skip Connections. Sie

kombiniert lokale Strömungsdetails wie etwa Wirbelstrukturen mit globalen Zusammenhängen, beispielsweise Hindernispositionen. Physikalische Randbedingungen sind in das Modell integriert, ohne die Rechenleistung zu beeinträchtigen. Durch die Repräsentation der Geometrie als binäre Voxel und den Einsatz von Physics Informed Source Terms wurden Rahmenbedingungen implizit erfüllt. Im AI Explorer des Fraunhofer IAO wurde die U-Net-

Methode vorgeschlagen, umgesetzt und bereits erfolgreich getestet.

**ALS VORLÄUFIG OPTIMALE NETZWERKARCHITEKTUR HAT SICH DIE U-NET-ARCHITEKTUR ERWIESEN: EIN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK MIT ENCODER-DECODER-STRUKTUR UND SKIP CONNECTIONS.**

### Verkürzte Entwicklungszeiten und geringerer Energiebedarf

Die erzielten Ergebnisse sind beeindruckend: Im Vergleich zu klassischen CFD-Simulationen reduziert das FlowROM-Modell den Rechenaufwand bei gleichbleibender Genauigkeit um den Faktor 1.000. Ein parallelisierter Workflow demonstriert auf modernen GPUs eine zusätzliche Beschleunigung um den Faktor 10. Auf HPC-Systemen skaliert, reduziert sich die Gesamtlösungszeit um einen weiteren Faktor von 10 bis 100 gegenüber CPU-basierten Verfahren.

Für Syntegon bedeutet das deutlich verkürzte Entwicklungszeiten und die Möglichkeit, Simulationen auf Standard-Hardware und sogar in Echtzeit durchzuführen. Gleichzeitig sinkt der Energiebedarf signifikant – ein entscheidender Beitrag zu nachhaltigerem Engineering. Konkrete weitere Schritte sind bereits geplant, um die Ergebnisse weiter zu verbessern. Dazu zählt die Evaluierung der PINN (Physics Informed Neural Networks)-Architektur, die physikalisches Wissen direkt in das Training integriert. Weiter wird daran gearbeitet, die Genauigkeit weiter zu erhöhen und die Methode auf 3D-Simulationen auszuweiten.

« TB

Dr. Andreas Wierse ist Geschäftsführer von Sicos BW.

# EIN STRATEGISCHER ANSATZ FÜR RESILIENTE DATENPROZESSE

Digitale Souveränität ist heute keine Option mehr, sondern ein Muss. So führten zum Beispiel die jüngsten Ausfälle globaler Anbieter von Rechenzentrumsdiensten und Cloud-Infrastrukturen Anwender schmerzlich vor Augen, wie digital abhängig wir von hochkomplexen, vernetzten Systemen sind. » VON CHRISTOPHER WOLL

**E**in DNS-Fehler, eine fehlerhafte Richtlinie oder eine überdimensionierte Konfigurationsdatei führten bei vielen Unternehmen allein in Europa zu weitgehenden Störungen bei zahlreichen Internetdiensten und Beeinträchtigungen von Cloud-Ressourcen – bis zum vollständigen Ausfall. Während die digitale Transformation europäischer Unternehmen stetig voranschreitet, zeigen diese aktuellen Entwicklungen das Risikopotential im Umgang mit stark zentralisierten Infrastrukturen. Ausfälle können für Unternehmen hohe Kosten verursachen, insbesondere wenn Geschäftsprozesse stark davon abhängen. Gleichzeitig belasten volatile Märkte, Lieferengpässe und steigende Preise aufgrund willkürlicher Zollbestimmungen und geopolitischer Konflikte die Wertschöpfung und verlangsamen die Produktion.

Unternehmen aller Branchen sind daher gut beraten, ihre Resilienz zu stärken und die Risiken durch Abhängigkeiten von zentralen IT-Diensten aktiv zu managen. Regulatorische Anforderungen wie NIS-2 erhöhen zusätzlich den Druck, IT-Strategien neu auszurichten.

Vielfältige Initiativen auf europäischer Ebene zeigen bereits heute, dass der Bedarf nach souveränen Lösungen längst erkannt ist. Doch letztlich liegt es an den Unternehmen, den Grad ihrer digitalen Souveränität konkret zu gestalten. GNS Systems unterstützt insbesondere die Branchen Manufacturing und Automotive, Engineering Daten und Entwicklungsprozesse resilient aufzustellen und so eine stabile Basis für Wachstum und Innovation zu schaffen.

## Digitale Ressourcen unabhängig und sicher verwalten

Digitale Souveränität darf nicht als vollständige Isolation von globalen Ökosystemen verstanden werden – zu groß sind die Skalierungschancen. Vielmehr geht es darum, jederzeit die vollständige Kontrolle über Daten, Anwendungen und digitalen Prozesse zu behalten – rechtlich, technisch wie auch operativ. Sie stärkt somit die Resilienz und strategische Sicherheit maßgeblich. Im

Umfeld dominanter globaler Anbieter von Infrastruktur und Software geht es vor allem darum, Chancen zu nutzen, Abhängigkeiten zu verstehen und Risiken einzugrenzen. Ansätze sind zum Beispiel Open Source oder die Förderung europäischer Unternehmen. Diese müssen ebenfalls robuste Ökosysteme schaffen und die Innovationskraft innerhalb Europas stärken. Die Einhaltung europäischer Gesetze und hoher Sicherheits- sowie Datenschutzvorgaben wird dabei jederzeit berücksichtigt.

Genau hier setzt GNS Systems an: Als unabhängiger Partner unterstützen die Experten aus Braunschweig Unternehmen dabei, den Grad ihrer digitalen Souveränität zu lenken und den Aufbau von Alternativen zu stärken. Dabei gilt es, vorhandene IT-Infrastrukturen, geschäftskritische Daten und erforderliche Software jederzeit kontrollierbar, anpassbar und rechtssicher zu betreiben – ganz gleich ob in internationalen IT-Systemen oder der eigenen Cloud im europäischen Rechenzentrum. Speziell auf den Business Case abgestimmte Lösungen schaffen die Fähigkeit, flexibel auf aktuelle technische, politische und wirtschaftliche Veränderungen zu reagieren.

**Souveräne Cloud-Infrastrukturen vereinen Skalierbarkeit, Datenkontrolle, Interoperabilität und europäische Rechtskonformität.**

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





Neue Zollbestimmungen, globale Konflikte und regulatorische Anforderungen wie zum Beispiel NIS-2 erhöhen den Druck, IT-Strategien neu auszurichten. Bild: ©Nazuro/stock.adobe.com (generiert mit KI)

Der Einsatz von Open-Source-Lösungen und eigener Software kann die Abhängigkeiten von einzelnen Technologien oder Anbietern zusätzlich reduzieren. Die dahinterstehende resiliente IT-Strategie schafft insgesamt die notwendigen Handlungsspielräume, um Risiken bei Infrastrukturen, Software und Daten zu minimieren, Compliance zu gewährleisten und jederzeit handlungsfähig zu bleiben.

### Souveräne Cloud als Grundlage für neue Wettbewerbsvorteile

Skalierbare, bedarfsgesteuerte Infrastrukturen in der Cloud sind für Unternehmen nach wie vor essenziell, um wettbewerbsfähig zu sein. Aktuell gewinnt zunehmend die Frage an Bedeutung, wo Daten verarbeitet werden, welchem Rechtsraum sie unterliegen und wie Wechsel- und Ausstiegsszenarien gestaltet sind.

### WILLKÜRLICHE ZOLLBESTIMMUNGEN UND GEOPOLITISCHE KONFLIKTE BELASTEN DIE WERTSCHÖPFUNG.

Souveräne Cloud-Infrastrukturen vereinen Skalierbarkeit, Datenkontrolle, Interoperabilität und europäische Rechtskonformität. Ein unabhängiger Cloud-Betrieb in Europa sichert unternehmenseigene Daten in vertrauenswürdigen Umgebungen und schützt sensibles Know-how vor unbefugtem Abfluss durch moderne Sicherheitskonzepte wie Zero Trust und Verschlüsselung.

Gleichzeitig reduzieren souveräne Clouds Abhängigkeiten durch offene Standards und vermeiden Vendor Lock-in, indem Hardware,

Virtualisierung, Netzwerke und Software nicht unbedingt über festgelegte Anbieter bereitgestellt werden. Unternehmen profitieren von maximaler Flexibilität, Transparenz in Lieferketten und geringere Ausfallrisiken – auch in geopolitisch unsicheren Zeiten.

### Vielältige Einsatzmöglichkeiten für Industrial AI in souveränen Cloud-Umgebungen

Künstliche Intelligenzen (KI) und Modelle des maschinellen Lernens in einer Cloud-Umgebung zu entwickeln, zu trainieren und zu implementieren, eröffnet Unternehmen weltweit neue Potenziale. Die Einsatzmöglichkeiten für KI in der Cloud sind dabei vielfältig: Von der Verarbeitung und Analyse von enormen Datenmengen, der Simulation in der Produktentwicklung bis zur Erkennung von Mustern mithilfe von KI können Prozesse und Workflows in hohem Maße beschleunigt werden. Besonders in der Fertigung optimiert KI die Produktionsprozesse und Qualitätssicherung.

In einer souveränen Cloud können Unternehmen aktuelle Technologien wie künstliche Intelligenz (KI) regelkonform nutzen, ihre Innovationskraft steigern und die Position im globalen Wettbewerb stärken. KI-Ressourcen und sensible Daten bleiben in der EU, sodass europäische Standards und Normen jederzeit eingehalten werden. Sensible Betriebsdaten sind verschlüsselt in deutschen Rechenzentren, während KI-Algorithmen Effizienzsteigerungen ermöglichen. Das gilt sowohl für lokale Rechenzentren als auch für souverän betriebene Infrastrukturen bei den führenden Hyperscalern.

### Die richtige HPC-Strategie: Public Cloud oder Private Stack?

Insbesondere bei rechenintensiven Anwendungen wie Simulationen, KI-Training, Datenanalyse oder wissenschaftlicher Forschung, die sich auf High Performance Computing (HPC) stützen, ist die Wahl zwischen Public Cloud und souveränem Private Stack entscheidend. Für schwankende Workloads, zeitkritische Projekte sowie Entwicklungs- und Testphasen bietet die Public Cloud klare Vorteile, da Rechenleistung und spezialisierte Hardware flexibel und kurzfristig bereitgestellt werden und nutzungsabhängig abgerechnet werden. Geht es jedoch um sensible Daten in regulierten Branchen oder kritischen Infrastrukturen, ist ein souveräner Private Stack die bessere Wahl. Er ermöglicht den Betrieb in einer kontrollierten Umgebung mit voller Datenhoheit, hoher Sicherheit und Compliance sowie langfristiger planbarer Performance ohne Abhängigkeit von externen Anbietern.

Ob man HPC in der public Cloud nutzt oder eigene, souveräne Systeme betreibt, hängt somit nicht ausschließlich von der reinen Rechenleistung ab. Wichtiger sind Aspekte der Sicherheit, Kontrolle über die eigenen Daten, Flexibilität und regulatorische Rahmenbedingungen. Sie entscheiden am Ende darüber, wie souverän ein Unternehmen seine IT-Strategie aufstellt, um mög-

**Public Cloud oder Private Stack?**  
Die richtige HPC-Strategie für Sicherheit, Flexibilität und Souveränität

**Während die Public Cloud flexible Ressourcen und Skalierbarkeit bietet, stellt ein souveräner Private Stack eine dezidierte, isolierte Umgebung für sensible Daten und Anwendungen bereit.**

Bild: GNS Systems

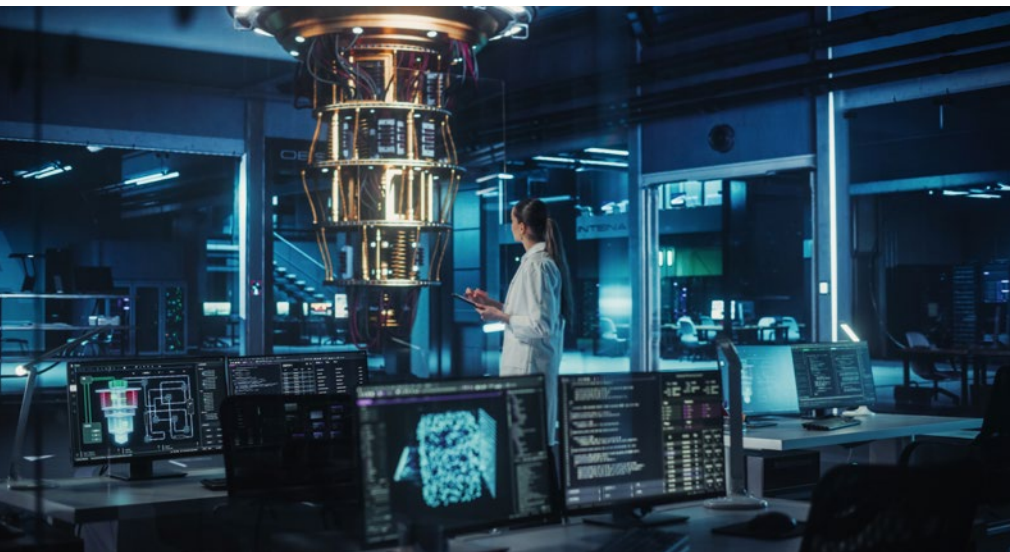
lichst selbstbestimmt über Infrastrukturen, Software und Daten bestimmen zu können. Hier setzen die Lösungen des Anbieters an, indem sie Unternehmen dabei unterstützen, passgenaue und souveräne IT-Lösungen zu entwickeln und umzusetzen. Weitere Einblicke in die Sovereign-Cloud-Lösungen erhalten Interessierte am Stand F19 von GNS Systems auf der ISC High Performance vom 22. bis 26. Juni in Hamburg.

« KIS

**Dipl.-Ing. Christopher Woll** ist Geschäftsführer bei GNS Systems.

# QUANTENCOMPUTING ALS STRATEGISCHE PFLICHTAUFGABE

Quantencomputing wandelt sich vom Forschungsthema zur strategischen Industriefrage. Entscheidend ist nicht die reine Qubit-Zahl, sondern die Vorbereitung: Use-Case-Priorisierung, hybride Algorithmen, Talentaufbau und Partnerschaften. Nur wer früh Piloten, Infrastruktur und Kompetenz entwickelt, kann später echten Mehrwert in Optimierung, Simulation und Entscheidungsprozessen realisieren. » VON INGOLF STÄRK



Das 3D-Rendering zeigt ein Quantencomputer-Konzept im Labor: ein zentraler Kryostat/Quantenprozessor, Arbeitsstationen mit Visualisierungen und eine Forscherin – symbolisch für den Übergang zur industriellen Vorbereitung.

**D**er industrielle Nutzen wird daher nicht durch einzelne Technologiesprünge entstehen, sondern durch ein belastbares Zusammenspiel aus Recheninfrastruktur, Anwendungs-Know-how, Datenkompetenz und Partnernetzwerken. Genau hier beginnt für Unternehmen bereits heute die Vorbereitung.

Gleichzeitig bleibt das Bild ambivalent. Laut der aktuellen Bitkom Studie „Quantencomputing in der deutschen Wirtschaft 2026“ bewerten rund 80 Prozent der Unternehmen Quantencomputing als wichtige Zukunftstechnologie, 62 Prozent erwarten Wettbewerbsvorteile und etwa die Hälfte geht davon aus, dass die Technologie das eigene Geschäftsmodell beeinflussen wird. Dennoch fällt es vielen Unternehmen schwer, das Potenzial von Quantencomputing für das eigene Geschäft realistisch einzuschätzen – 47 Prozent der Befragten geben genau das an. Entsprechend verfolgen viele zunächst

eine abwartende Strategie. Genau darin liegt jedoch ein Risiko: Wer erst dann handelt, wenn Anwendungen breit verfügbar sind, hat weder internes Know-how noch die nötigen technologischen und organisatorischen Voraussetzungen aufgebaut.

## Quanteninspirierte Verfahren als Brücke zur Praxis

Dabei zeichnen sich industrielle Anwendungsfelder bereits ab – vor allem dort, wo klassische Systeme an strukturelle Grenzen stoßen: bei hochkomplexen Optimierungs-, Simulations- und Datenproblemen. Besonders relevant ist das für industrielle Prozesse mit vielen voneinander abhängigen Variablen und einer großen Zahl möglicher Lösungsoptionen, etwa in der Produktionsplanung, bei der Maschinenbelegung, in der Logistiksteuerung oder in Lieferketten.

Technologisch befindet sich das Feld zwar weiterhin überwiegend in der Forschungsphase. Für die industrielle Praxis gewinnen

aber schon heute Simulatoren, hybride Ansätze und quanteninspirierte Verfahren an Bedeutung. Sie basieren nicht zwingend auf echter Quantenhardware, greifen aber Denk- und Lösungsansätze aus dem Quantencomputing auf. Ihr strategischer Wert liegt darin, dass Unternehmen bereits heute geeignete Anwendungsfälle identifizieren, Algorithmen testen und Erfahrungen in hybriden Rechenumgebungen aufbauen können – ohne auf vollständig ausgereifte Quantenhardware angewiesen zu sein.

## Industrieproduktion als Quanten-Hotspot

Besonders relevant ist das für die Industrieproduktion. Planung, Maschinensteuerung und Robotik erfordern die gleichzeitige Verarbeitung zahlreicher voneinander abhängiger Variablen. Quanten- und quanteninspirierte Verfahren könnten hier perspektivisch helfen, etwa Reihenfolge- und Auslastungspro-

**QUANTENCOMPUTING IST DAMIT NOCH KEIN STANDARD IM UNTERNEHMENSALLTAG, ABER EIN STRATEGISCHES ZUKUNFTSFELD, IN DEM LANGFRISTIGE HANDLUNGSFÄHIGKEIT WICHTIGER WIRD ALS KURZFRISTIGE AUFMERKSAMKEIT.**

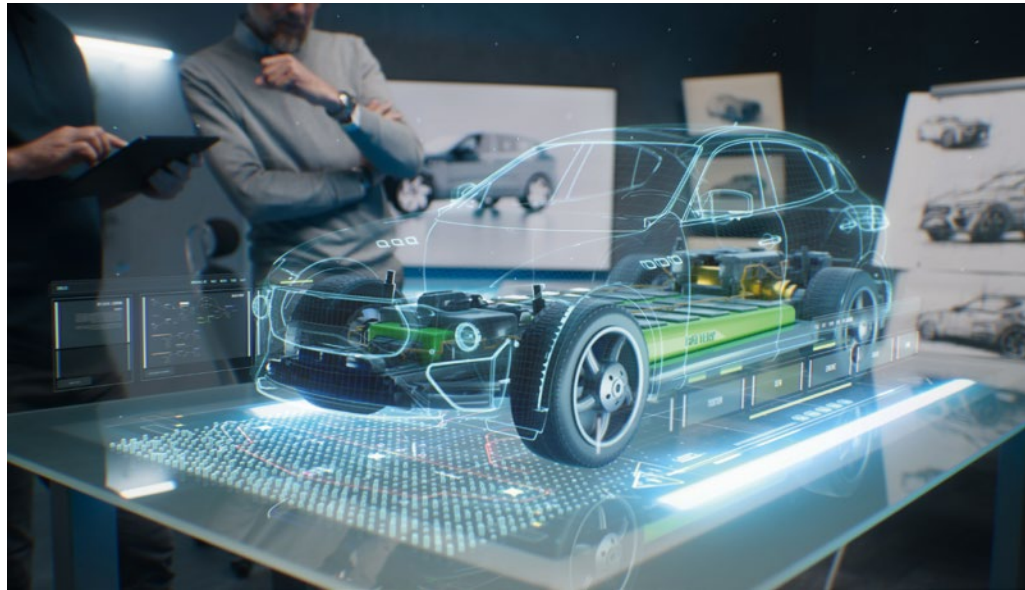
bleme effizienter zu lösen und Prozesse bei Qualität, Ressourceneinsatz und Flexibilität zu optimieren. Ähnliches gilt für die Logistik, etwa bei dynamischer Routenplanung, Flottensteuerung oder komplexen Pack- und Zuordnungsproblemen in Lieferketten. In Simulation und Engineering wiederum liegt großes Potenzial darin, physikalische und chemische Prozesse präziser zu modellieren, neue Materialien schneller zu bewerten und Entwicklungszyklen zu verkürzen.

## ■ QUANTENCOMPUTING ENTWICKELT SICH ZUNEHMEND VON EINEM FORSCHUNGSTHEMA ZU EINER STRATEGISCHEN INDUSTRIEFRAGE. ■

Für Unternehmen folgt daraus vor allem eines: Noch geht es weniger um eine schnelle Einführung als um strukturelle Vorbereitung. Fünf Handlungsfelder sind dabei besonders relevant.

### Fünf Handlungsfelder für den Quantenvorsprung

- 1. Hybride Infrastrukturen.** Quantencomputer werden klassische Hochleistungssysteme nicht ersetzen, sondern ergänzen. Der Mehrwert entsteht im Zusammenspiel mit HPC-, KI- und Datenarchitekturen. Wer diese Integration frühzeitig mitdenkt, schafft die Grundlage für spätere End-to-End-Anwendungen.
- 2. Kompetenzen und Partnerschaften.** Der Engpass liegt derzeit weniger in fehlender Technologie als in fehlendem Know-how. Unternehmen müssen Anwendungsverständnis aufbauen und zugleich mit Forschungseinrichtungen, IT-Partnern und spezialisierten Ökosystemen zusammenarbeiten.
- 3. Transparenz und messbarer Nutzen.** Im industriellen Umfeld wird sich Quantencomputing nur dann durchsetzen, wenn Vorteile gegenüber klassischen Verfahren nachvollziehbar belegt werden können – etwa bei Qualität, Rechenzeit, Skalierbarkeit, Energieeinsatz oder Robustheit.



Ein holografisches 3D-Modell eines modernen Elektrofahrzeugs mit Fahrgestell, Batteriepack und Antriebskomponenten auf einer Projektionsfläche in einem Designstudio veranschaulicht die High-Tech-Entwicklung mit Fokus auf umweltschonende, nachhaltige Standards. Bilder: Fujitsu

### 4. Post-Quantum-Kryptographie (PQC).

Während viele industrielle Quantenanwendungen noch in der Erprobung sind, ist PQC bereits heute ein konkreter Einstiegspunkt. Wer kryptographische Agilität aufbaut und besonders schützenswerte Daten identifiziert, adressiert nicht nur künftige Sicherheitsrisiken, sondern stärkt zugleich die strategische Vorbereitung auf Quantentechnologien.

### 5. Digitale Souveränität und Geopolitik.

Nationale Quantenstrategien, Förderprogramme und Exportkontrollen prägen das Ökosystem zunehmend. Der Zugang zu Technologie, Talenten und Infrastruktur wird damit auch zu einer Frage verlässlicher regionaler Partnerschaften.

■ **WER ERST DANN HANDELT, WENN ANWENDUNGEN BREIT VERFÜGBAR SIND, HAT WEDER INTERNES KNOW-HOW NOCH DIE NÖTIGEN TECHNOLOGISCHEN UND ORGANISATORISCHEN VORAUSSETZUNGEN AUFGEBAUT.** ■

### Vom Hype zur Handlung - Voraussetzungen jetzt legen

Quantencomputing steht damit an der Schwelle zwischen Forschung und industrieller Anwendung. Der entscheidende Wettbewerbsvorteil entsteht nicht erst mit breit verfügbarer Quantenhardware, sondern durch die Voraussetzungen, die Unternehmen schon heute schaffen: Kompetenzen, relevante Anwendungsfälle sowie die Integration in bestehende IT-, KI- und Datenarchitekturen. 2026 markiert den Übergang vom technologischen Hype zum Aufbau belastbarer Strukturen. Der Fokus verschiebt sich von Qubit-Zahlen auf Integrationsfähigkeit, Talententwicklung, Transparenz, PQC und geopolitische Resilienz. Quantencomputing ist damit noch kein Standard im Unternehmensalltag, aber ein strategisches Zukunftsfeld, in dem langfristige Handlungsfähigkeit wichtiger wird als kurzfristige Aufmerksamkeit. « TB



Auf dem Bild sind die die Entwicklung, Simulation und das Testen von Quanten-Machine-Learning-Algorithmen zu sehen.

Ingolf Stärk ist HPC & Quantum Consultant bei Fsas Technologies – a Fujitsu company.

# 3D-DRUCK ALS NACHHALTIGE ALTERNATIVE

Das Thema Nachhaltigkeit prägt auch zunehmend Fertigungstechnologien und Entwicklungsprozesse. Ein Beispiel: Neben klassischem Spritzguss nutzt Tsubaki Kabelschlepp seit kurzem die Additive Fertigung, um Musterteile in kürzester Zeit zu erzeugen und Testphasen deutlich schneller und kostengünstiger zu durchlaufen. Ein Ansatz, der Nachhaltigkeit mit technischer Innovationskraft verbindet. » VON BASTIAN MAKENTHUN

**W**er letztes Jahr an Heiligabend das Weihnachts-Set eines großen Klemmbaustein-Anbieters ausgepackt hat, hielt gleichzeitig auch einen Experimentierkasten in der Hand. Der weltbekannte Spielzeughersteller und Spritzgießer hat nämlich erstmals ein Teil aus dem 3D-Drucker in seine Bausätze integriert. Eine kleine blaue Lok. Mit deutlich anderer Oberflächenoptik, aber dem gewohnten Verbindungsmechanismus. Warum das interessant ist? Das dänische Familienunternehmen befasst sich bereits seit geraumer Zeit mit dem Thema Nachhaltigkeit und forscht in diesem Zusammenhang beispielsweise an alternativen Materialien für seine Klemmbausteine.

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

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

## Additive Fertigung und 3D-Scanning als Entwicklungsbeschleuniger

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

„Wir haben die Serien TKHP 85 und TKHP 90 parallel in weniger als sechs Monaten entwickelt. Normalerweise dauert das deutlich länger“, berichtet Peter Pütz. Möglich wurde das, weil gedruckte Muster bereits in sehr frühen Phasen mechanisch belastet, zusam-

**» WIR HABEN DIE SERIEN TKHP 85 UND TKHP 90 PARALLEL IN WENIGER ALS SECHS MONATEN ENTWICKELT. NORMALERWEISE DAUERT DAS DEUTLICH LÄNGER.«**

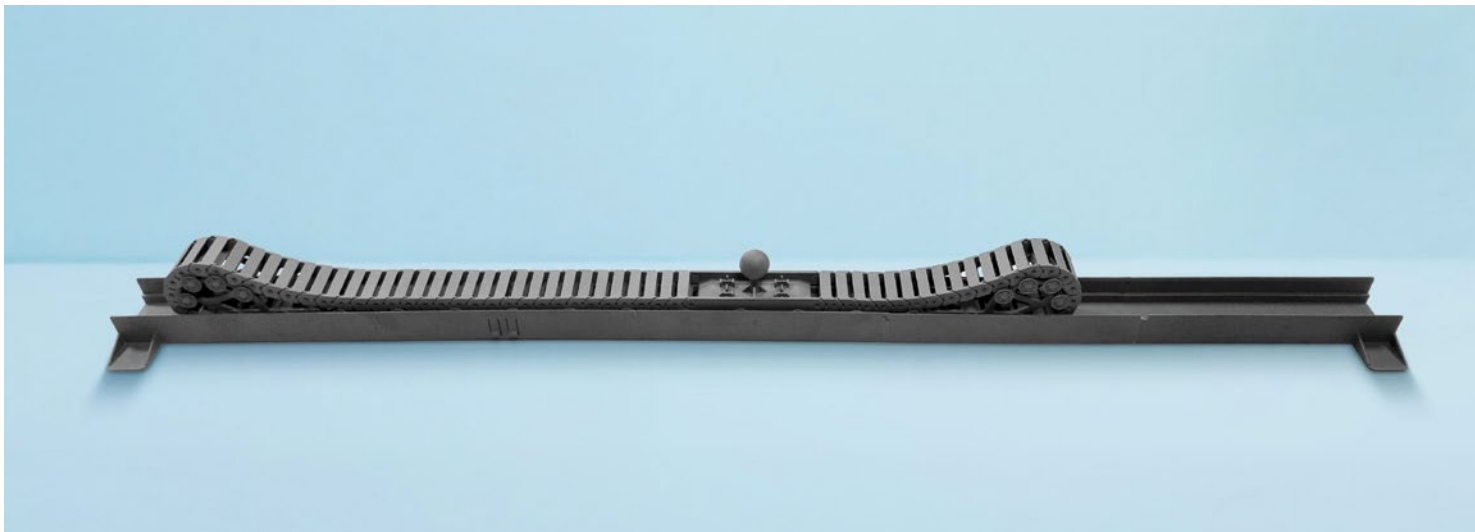
PETER SEBASTIAN PÜTZ

mengefügt und im realen Einbauzustand getestet werden konnten. Passungen, Rastmechanismen und Biegeradien ließen sich ohne Werkzeuganpassung iterieren, bis das System harmonisch funktionierte.

Ein weiterer Beschleuniger war der 3D-Scan. Statt – wie früher – jede Optimierungsstufe mit aufwendigen taktilen Messreihen zu verifizieren, wurden die ersten Muster vollständig gescannt und automatisch mit den CAD-Sollgeometrien überlagert. Abweichungen markiert das System unmittelbar.

Bei der Entwicklung seiner neuen Hochleistungsenergiekette TKHP hat Tsubaki Kabelschlepp erstmals 3D-Druck und 3D-Scan durchgängig kombiniert.





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

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



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

**Im Bereich Landstrom präsentierte Tsubaki Kabelschlepp dem Kunden die Lösung zunächst als 3D-gedrucktes Muster und gewann den Auftrag.**

### **Musterfertigung für kundenspezifische Projekte im Bereich Landstrom**

Wie stark die Additive Fertigung Kommunikation und Entscheidungsfindung verbessert, zeigt ein aktuelles Projekt im Bereich Landstrom. Tsubaki Kabelschlepp konnte hier einen Auftrag gewinnen, weil dem Kunden die Lösung als 3D-gedrucktes Muster vorgestellt wurde. Das kundenspezifische Kabelführungssystem war so nicht „in der Schublade“ vorhanden, sondern entstand im Dialog, basierend auf schnell gedruckten Iterationen. „Der Kunde sieht früh, was später geliefert wird, und kann Änderungen unmittelbar anstoßen“, fasst Peter Pütz die Vorteile zusammen. „Für uns reduziert sich das technische und wirtschaftliche Risiko, da Machbarkeit, Montagefolge und Belastbarkeit schon vor dem Werkzeugbau abgesichert werden.“

So schließt sich der Kreis zur Nachhaltigkeit: Entscheidungswege werden kürzer, Fehlinvestitionen vermieden, und am Ende entsteht genau das, was gebraucht wird – nicht mehr und nicht weniger. >



**Reibungsloser Betrieb: Die TKHP ist mit patentierter Rollendämpfung, sowie mit patentierten Roll- und Gleitflächen ausgestattet.**



Energiekettensystem für Landstromanlagen gibt es nicht von der Stange.

### Additive Fertigung und Nachhaltigkeit

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

- **Zeit als Nachhaltigkeitsfaktor.** Entwicklungszeit bedeutet auch Energie- und Materialverbrauch. Wenn marktreife Lösungen in Monaten statt Jahren erreicht werden, sinken Iterationsschleifen, Transportwege für Muster und der Aufwand in begleitenden Prüfprogrammen.
- **Weniger Abfall.** Mit den pulverbettbasierten SLS-Verfahren, das Tsubaki Kabelschlepp einsetzt, fallen so gut wie keine Pulverreste an; nicht versintertes Material wird erneut verwendet. Stützstrukturen entfallen.
- **Werkzeugbau reduzieren.** Werkzeugbau ist energie- und materialintensiv. Wenn ein Werkzeug nicht benötigt wird – etwa bei Kleinserien, Anlaufmustern oder Sonderlösungen – spart additive Fertigung signifikant Ressourcen.
- **Anwendungsgrenzen respektieren.** „Dass der 3D-Druck den Spritzguss ablöst, davon sind wir weit entfernt“, ordnet Peter Pütz ein. „Kunststoffeigenschaften, Stückzahlen, Oberflächenanforderungen oder Zykluszeiten sprechen in der Serie oft weiterhin für den Spritzguss.“



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

Bilder: Tsubaki Kabelschlepp

### Wirtschaftlichkeit und hybride Ansätze

Auch in punkto Wirtschaftlichkeit kann die Additive Fertigung im Vergleich zum Spritzguss eine interessante Alternative sein. „Für Teile mit moderaten Stückzahlen stellt sich immer die Frage: Lohnt ein Spritzgusswerkzeug?“, erläutert Pütz. Bereits einfache Werkzeuge schlagen schnell mit 100.000 bis 200.000 Euro zu Buche – bevor das erste Teil die Maschine überhaupt verlassen hat. Im 3D-Druck entfällt diese Hürde.“

Um Werkzeugkosten zu sparen, denkt Tsubaki Kabelschlepp außerdem über hybride Ansätze nach: So könnten einfache Spritzgusswerkzeuge aus speziellen Hochleistungskunststoffen additiv hergestellt werden. Für Prototypen-Spritzguss und kleine Losgrößen ergeben sich so erstaunlich hochwertige Lösungen. „Teile, die mit einem Werkzeug aus dem 3D-Drucker gespritzt werden, sind schon heute äußerst präzise, können aber nicht in hoher Auflage hergestellt werden“, beschreibt Peter Pütz Möglichkeiten und Grenzen. „Für Prototypen und Pilotserien wäre das Verfahren jedoch hervorragend geeignet.“

### Additive Fertigung als flexible Containerlösung

Damit die neue Technologie nicht „irgendwo im Raum“ steht, hat Tsubaki Kabelschlepp seine Additive Fertigung als Containerlösung organisiert. Drucker, Aufbereitungsanlage und Peripherie sind in einem klimatisierten Allwettercontainer zusammengefasst, der wie eine Spritzgussmaschine verwaltet wird – inklusive Anbindung an das ERP-System. So sind Aufträge sauber planbar, Rückverfolgbarkeit und Kalkulation identisch zu den etablierten Fertigungslinien. Die Lösung ist bewusst mobil gedacht. Da Tsubaki Kabelschlepp sein Fabriklayout kontinuierlich weiterentwickelt, kann der Container innerhalb des Werks versetzt oder – temporär – im Außenbereich betrieben werden. Das erleichtert die Integration in Materialfluss und Logistik, ohne bauliche Hürden zu erzeugen. Die Kapazitäten sind ausreichend für Muster, Vor- und Kleinserien sowie projektspezifische Komponenten wie Zugentlastungsblöcke. Wichtig ist nicht die maximale Stückzahl, sondern die verlässliche, dokumentierte Qualität – und die hohe Reaktionsgeschwindigkeit in Entwicklungs- und Kundenprojekten.

« KF

Bastian Makenthun ist Teamlead International Communications - Marketing & Innovation bei Tsubaki Kabelschlepp.

# 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.  
Maxlrainer 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

### KI IN KONSTRUKTION UND SIMULATION

Künstliche Intelligenz verändert die Konstruktion und Simulation grundlegend. Moderne Algorithmen unterstützen Ingenieurinnen und Ingenieure dabei, komplexe Bauteile schneller zu entwickeln, Varianten effizient zu bewerten und präzisere Prognosen zu treffen. In der kommenden Ausgabe zeigen wir, wie KI-gestützte Tools Prozesse beschleunigen, Kosten senken und völlig neue Designansätze ermöglichen – von der ersten Idee bis zur virtuellen Validierung.

Bild: © GamePixel/stock.adobe.com



### KABEL, LEITUNGEN & STECKVERBINDER

Kabel, Leitungen und Steckverbinder sind das Rückgrat moderner Technologien – oft unscheinbar, aber unverzichtbar. Ob in Industrieanlagen, Fahrzeugen oder der Gebäudetechnik: Sie sorgen für sichere Energie- und Datenübertragung. In der kommenden Ausgabe beleuchten wir aktuelle Trends, innovative Materialien und Lösungen für steigende Anforderungen an Leistung, Miniaturisierung und Zuverlässigkeit – und zeigen, worauf es in der Praxis wirklich ankommt.

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



### PLM-LÖSUNGEN IN DER PRAXIS

PLM-Lösungen verbinden Entwicklung, Produktion und Service zu durchgängigen Prozessen. In der Praxis zeigen sie ihr Potenzial vor allem dort, wo Daten konsistent genutzt und Abläufe effizient gesteuert werden. In der kommenden Ausgabe berichten wir, wie Unternehmen PLM erfolgreich einsetzen, typische Hürden meistern und Transparenz über den gesamten Produktlebenszyklus schaffen – für mehr Qualität, schnellere Markteinführung und nachhaltige Wettbewerbsfähigkeit.

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



### WEITERE THEMEN IN DER KOMMENDEN AUSGABE:

- IIoT-Lösungen und IoT-Plattformen
- CAM-Lösungen
- Technische Dokumentation

## 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)  
**Redaktion:** Karin Faulstroh (karin.faulstroh@win-verlag.de),  
 Tino M. Böhrler (tino.boehler@win-verlag.de), Frida Dumann (Werkstudentin)  
 Kirsten Seegmüller (externe Mitarbeiterin,  
 kirsten.seegmueller@extern.win-verlag.de)

### Mitarbeiter dieser Ausgabe:

Marcus Böckler, Michael Falkensteiner, Jens Frantzen, Michael Heßhaus,  
 Martin Kandziora, Anja Koser, Bastian Makenthun, Roswitha Menke, Hans-  
 Joachim Müller, Dominik Nöth, Dr. Phillip Oberdorfer, Bruno Pause, Marcel  
 Richter, Ravi Shankar, Daniel Sokoup, Ingolf Stärk, Ralf Steck, Sabine Terrasi,  
 Robert Timmerberg, Thomas Walker, Dr. Andreas Wierse, Christopher Woll

### So erreichen Sie die Anzeigenabteilung:

**Anzeigengesamtleitung:**  
 Martina Summer (089-3866617-31, martina.summer@win-verlag.de),  
 Anzeigenverantwortlich

### Mediaberatung:

Michael Nerke (Anzeigenverkaufsleiter,  
 Tel.: 089-3866617-20, michael.nerke@win-verlag.de),  
 Maximilian Schröck (Tel.: 089-3866617-34,  
 maximilian.schroeck@win-verlag.de)

### Anzeigendisposition:

Auftragsmanagement@win-verlag.de  
 Chris Kerler (089/3866617-32, chris.kerler@win-verlag.de)

### Abonnentenservice und Vertrieb

Tel: +49 89 3866617 46  
[www.digital-engineering-magazin.de/hilfe](http://www.digital-engineering-magazin.de/hilfe)  
 oder eMail an  
 abovetrieb@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:

© Mlke/stock.adobe.com  
 Hintergrund: © Lukas Gojda/stock.adobe.com

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

### Produktion und Herstellung:

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

### Anschrift Anzeigen, Vertrieb und alle Verantwortlichen:

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

### Verlagsleitung:

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

### Objektleitung:

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

### Zentrale Anlaufstelle für Fragen zur Produktsicherheit

Martina Summer (089/3866617-31, 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 Zusammen-  
 fassungen – abgegolten. Eine Haftung für die Richtigkeit der Veröffent-  
 lichung 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 Ver-  
 lages 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 03/20256  
 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

Aus aktuellem Anlass kann es zu Themenänderungen kommen.



Bild: ZappPhoto@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

# Additiv X

## ADDITIVE FERTIGUNG FÜR SUPPLY CHAIN, PRODUKTION & SERVICE

Jetzt  
entdecken!



### Entdecken Sie die Zukunft der Ersatzteilproduktion: 3D-Druck als Schlüsseltechnologie für Ihre Branche!

Erfahren Sie, wie Kunststoff- und Metall-3D-Druck zum strategischen Werkzeug für Ersatzteile wird – branchenunabhängig und praxisnah. Im Fokus stehen Materialien, Prozesse, Wirtschaftlichkeit sowie die Integration in bestehende Produktions- und Instandhaltungsstrukturen.

**Datum:** 22. September 2026

**Ort:** SKZ – Das Kunststoff-Zentrum Würzburg

**Mehr Infos & Tickets:** [www.additivx.de](http://www.additivx.de)

Ein Event von:

PLAST X  
NOW

SKZ