01 | 2023

EMO HANNOVER
Innovate Manufacturing.

EMO-Journal

VDI-Z VDI nachrichten Konstruktion

Anzeige

REMOLDING
the machine tool industry:
igus®
motion plastics®
EMO Halle 9, E24
Cobot für nur 4.970 €

Ihr offizieller Medienpartner zur EMO

Innovativer 3D-Druck, vernetzte Produktionsprozesse, Mensch-Maschine-Kollaboration und Nachhaltigkeit. Als Weltleitmesse der Fertigungsindustrie rückt die EMO Hannover aktuelle Themen der Produktionstechnik in den Mittelpunkt und schlägt gleichzeitig die Brücke zu Geschäftsmodellen der Zukunft.

Mit der einzigen offiziellen Messezeitung informieren VDI nachrichten und VDI Fachmedien die Messebesucher über Aussteller und Produkte, zeigen technische Weltneuheiten und lassen dabei Experten aus Wissenschaft und Wirtschaft zu Wort kommen.

EMO HANNOVER Innovate Manufacturing.

EMO-Daily

VDI-Z VDI nachrichten Konstruktion

18. September 2023 Ausgabe 1

„Hallo,

Visionaries

Willkommen bei der EMO Hannover.

Weltleitmesse der Produktionstechnologie.

18. bis 23. September 2023

MIKROELEKTRONIK: Die Mikroelektronik-Branche ist dabei, die Corona-Delle schnell zu überwinden. Neue Chancen warten in vielen Märkten.

VON JENS D. BILLERBECK

„Jean-Marc Chery, STMicroelectronics, Reinhard Ploss, Infineon, und Kurt Sievers, NXP, führen zur Seite der ZVEI-Präsident und Chef von Pepperl+Fuchs, Gunther Kegel. Letzterer brachte die Stimmung der Branche auf den Punkt: „Wir wurden ins kalte Wasser geworfen, aber wir haben schnell gelernt zu schwimmen."

Einhellig waren die CEOs im Panel der Meinung, die Corona-Pandemie habe im Frühjahr zu starken Verwerfungen und unklarer Risikolage bezüglich der weltweiten Lieferketten der Chipindustrie geführt, doch mittlerweile sei man unter veränderten Bedingungen wieder auf der Erfolgsspur. Einige Branchen hätten sich gerade wegen der Pandemie erfreulich entwickelt, so der Bereich IT und Kommunikation. Egal, ob der Markt nun 2021 oder erst 2022 die Verluste des ersten Halbjahres 2020 kompensiert, an den langfristig positiven Aussichten für die Chipindustrie hofft keiner der Beteiligten. Zweifel. Anhaltende Risiken wie die schwelenden Handelskonflikte und die Gefahr einer „entglobalisierten" Welt schienen da deutlich präsenter als das Virus.

Pragmatismus und die Fähigkeit, sich an neue Gegebenheiten schnell anzupassen, zeichnen die Industrie seit ihren Anfängen aus. Waren die Megathemen der vergangenen Jahre das Smartphone und die Cloud, setzt NXP-Chef Sievers für die nächsten zehn Jahre auf sicheres Edge-Computing: Datenverarbeitung inklusive künstlicher Intelligenz vor Ort in Fabriken und Automobilen. Dafür entwickelt die Industrie ihren umfangreichen „Werkzeugkasten" stetig weiter.

Dafür die Industriedie Industrieentwickelt die Industrie ihren umfangreichen „Werkzeug-

20

EMO - Daily

ANZEIGENSCHLUSS:
01.09.2023

ERSCHEINUNGSTERMIN:
18., 20. und 22 September

2-sprachig deutsch/englisch

Direkt an die Zielgruppe verteilt:
Als einziges offizielles Messemagazin ausschließlich auf dem Messegelände für Besucher sowie Aussteller.
Motivwechsel möglich!

Auflage
60.000 Exemplare
(3 tagesaktuelle Ausgaben)

Ansprechpartner für alle Rückfragen

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

Sarah Simon
Leiterin Media Sales
Telefon: +49 211 6103-166
ssimon@vdi-fachmedien.de

Treffpunkt der Produktionstechnik

Im September ist es soweit. Nach vier Jahren findet vom 18. bis zum 23. September 2023 wieder die EMO Hannover statt. Aktuell werden rund 1750 Aussteller aus 42 Ländern erwartet, die das gesamte Spektrum der Produktionstechnik abbilden.

Drei Megatrends sollen, wie der VDW (Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V.) als Veranstalter ausführt, im Fokus der EMO Hannover 2023 stehen: The Future of Business, The Future of Connecitivity und The Future of Sustainability. Damit knüpft die Messe an die vorherigen Veranstaltungen an. Auch da standen Themen wie Digitalisierung oder Konnektivität im Mittelpunkt der Messe. Also nichts Neues unter der Sonne?

Thematisch mag das stimmen, inhaltlich nicht. So wird beispielsweise umati, die globale Initiative für offene Kommunikationsschnittstellen für die Maschinenindustrie, noch größer und umfassender in Hannover vertreten sein. Meet-the-Experts-Runden und Live-Demonstrationen zeigen den Besuchern, wie ausgereift die technischen Lösungen sind und welchen Nutzen sie den Anwendern bieten können. In der direkten Nähe in Halle 9 finden Besucher die Stände der OPC-Foundation und der Abteilung Machine Information Interoperability (MII) des VDMA.

In unserem Beitrag „Reibungsloser Datenfluss“ ab Seite 43 können Sie nachlesen, dass der Arbeitsgruppe „OPC UA Geometrische Messsysteme“ jetzt ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur Vereinheitlichung der Kommunikation gelungen ist. Die OPC UA Companion Specification für geometrische Messsysteme (GMS) ist fertig und verabschiedet worden. Die im VDMA versammelten Unternehmen haben, so die Autoren, in rekordverdächtiger Zeit die Entwicklung der Schnittstelle vollendet. Außerdem ist die Arbeitsgruppe „OPC UA Cutting Tools“ gegründet worden. Ziel: der effektive Austausch von Daten der Werkzeuge zwischen CAD/CAM-System, Werkzeugschleifmaschine und -messmaschine.

Udo Schnell
Chefredakteur
Konstruktion/
Redaktionsleiter
VDI Fachmedien
Foto: Frank Vinken/dwb

Auch das Thema Nachhaltigkeit ist nicht wirklich neu, es wird in der Umsetzung aber immer konkreter. Der Werkzeughersteller Ceratizit will beispielsweise demonstrieren, dass sich hohe Leistung und eine besonders nachhaltige Herstellung bei Hochleistungswerkzeugen nicht ausschließen. Das Unternehmen produziert eine Geometrie einer Vollhartmetallfräser-Serie aus einer eigens entwickelten Hartmetallsorte und kann damit einen extrem niedrigen CO_2-Fußabdruck nachweisen.

„Die Herausforderungen werden anspruchsvoller und die Branche reagiert: zum Teil mit ganz neuen Lösungsansätzen.“

Ein anderes Beispiel ist der Energiekettenhersteller igus, der einen Prozess entwickelt hat, um ausgediente Energieketten zu recyceln, unabhängig davon, wer die Energiekette hergestellt hat. Seit dem Start des Projektes habe man, so igus, bereits über 60 Tonnen Hochleistungskunststoffe gesammelt, die Hälfte davon im vergangenen Jahr. Aus dem Rezyklat entstehen wieder neue Produkte, beispielsweise die erste Energiekette aus 100 Prozent recyceltem Material.

Digitalisierung und Automatisierung gehören natürlich nach wie vor zu den Top-Themen der Industrie. Nicht nur, weil sich die technischen Lösungen seit der vergangenen EMO Hannover deutlich weiterentwickelt haben. Der Fachkräftemangel hat eine Dynamik angenommen, die den Unternehmen keine andere Wahl lässt, als Prozesse zu optimieren und Abläufe und Arbeitsschritte zu automatisieren. Als weiteres Werkzeug ist die Künstliche Intelligenz ins Spiel gekommen. Populär geworden durch ChatGPT, ist KI jetzt in aller Munde. In der Industrie heißt KI in der Regel noch Machine Learning. Aber auch da schreitet die Entwicklung sehr schnell voran. Bei der Technik des Federated Learnings ist es zum Beispiel möglich, mit dezentral gespeicherten Daten ein gemeinsames KI-Modell zu trainieren, ohne die Daten direkt auszutauschen. Damit können auch solche Unternehmen KI-Modelle entwickeln, bei denen alleine nicht genug Daten für ein präzises Modell anfallen.

Die Herausforderungen an die Produktionstechnik werden anspruchsvoller und die Branche reagiert: zum Teil mit optimierten, zum Teil mit ganz neuen Lösungsansätzen. Auf der EMO Hannover werden alle Entwicklungen live zu sehen sein. In diesem Journal präsentieren wir Ihnen einen Ausschnitt davon, weitere Informationen werden folgen: online unter www.vdi-nachrichten.com, aber während der Messe auch tagesaktuell in der Messezeitung EMO Daily direkt vom Messegelände!

EMO Hannover: Gemeinschaftsstände machen Trendthemen noch sichtbarer. Die Sustainability in Production Area stößt auf großes Interesse, weil sich Aussteller in diesem Feld neu positionieren. *Foto: VDW*

Startups: Mit AR können neue Mitarbeiter geschult werden, ohne dass die Produktion unterbrochen werden muss. Außerdem können Servicetechniker aus der Ferne angeleitet werden. *Foto: Holo-Light*

Editorial

S3 Treffpunkt der Produktionstechnik

EMO Hannover

S6 Digitalisierung und Nachhaltigkeit stehen im Fokus der Industrieproduktion

S9 umati zurück auf der EMO Hannover

Künstliche Intelligenz

S10 Künstliche Intelligenz macht Fabriken clever

Werkzeugmaschinen

S12 Start-ups ebnen den Weg zu neuen Geschäften

S15 Onlinefähiges Ratter-Frühwarnsystem

S18 Silent Tools erweitern Dreh-Bohr-Fräszentren

S20 Funkenerosion: Effizienz durch Sauberkeit

Digitalisierung

S22 Matrixproduktionssysteme sind flexibel und produktiv

S24 Mit Big Data zu neuen Geschäftsmodellen

S28 Eine Abkürzung zum fertigen Bauteil

Werkzeuge und Spannmittel

S30 Für Jede(n) das perfekte Werkzeug

S33 Smarter Werkzeughalter als Datenlieferant

S36 Stechdrehen mit Wendeschneidplatten

S39 Stabile Prozesse durch Fräswerkzeug-Modifikation

S42 Die Suche nach dem optimalen Werkzeug

Messtechnik und Qualitätssicherung

S43 Reibungsloser Datenfluss

Software und Automatisierung

S46 Werkzeuge effizient reparieren

S48 Von der Maschinen- zur Prozessautomation

E-Mobilität

S51 Wie bringt Fertigungstechnik die E-Mobilität voran?

Antriebstechnik

S54 Spindellager für Werkzeugmaschinen

Additive Fertigung

S56 AM: Hohe Relevanz der Feedstock-Charakterisierung

S59 3D-gedruckte Werkzeuge: „der Dampfmaschine ebenbürtig"

Werkzeuge: Intelligente Werkzeughalter beanspruchen kaum mehr Bauraum als ein konventionelles Modell und sind ebenso universell einsetzbar sowie einfach integrierbar. *Foto: Fraunhofer IWU*

Impressum

Redaktion:
Chefredakteur Ken Fouhy, B.Eng. (kf)

VDI nachrichten
Dipl.-Kfm. Stefan Asche (sta),

VDI Fachmedien
Dr.-Ing. Birgit Etmanski (be)
Udo Schnell (us)

Redaktionsassistenz:
Alexandra Briesch

Anschrift der Redaktion:
VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf
Telefon: +49 2 11 61 88-335
www.vdi-nachrichten.com
www.vdi-fachmedien.com
redaktion@vdi-nachrichten.com

Verlag:
VDI Verlag GmbH,
VDI Fachmedien GmbH & Co. KG
VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf
Postfach 10 10 54, 40001 Düsseldorf
Telefon: +49 2 11 61 88-0
Commerzbank AG, BIC: DRES DE FF 300
IBAN: DE59 3008 0000 0214 0020 00

Geschäftsführung: Ken Fouhy, B.Eng.

Layout/Produktion: Gudrun Schmidt (verantw.),
Alexander Reiß

Anzeigen:
Petra Seelmann-Maedchen
pmaedchen@vdi-nachrichten.com
Telefon: +49 2 11 61 88-191
Sarah-Madeleine Simon
ssimon@vdi-fachmedien.de
Telefon: +49 (0) 211/6103-166

Disposition: Ulrike Artz (verantw.),
abwicklung@vdi-nachrichten.com
Telefon: +49 2 11 61 88-461

Vertriebsleitung: Ulrike Gläsle

Der Verlag haftet nicht für unverlangt eingesandte Manuskripte, Unterlagen und Bilder. Die Veröffentlichung von Börsenkursen und anderen Daten geschieht ohne Gewähr.

Druck:
KLIEMO AG, Hütte 53, 4700 Eupen, Belgien

Titelbild: Deutsche Messe AG

iJaw

Spannkraftmessung während der Bearbeitung

Die Nachrüstlösung für alle bestehenden Drehmaschinen ist jetzt verfügbar. Keine Integration in die Maschinensteuerung notwendig!

JETZT BERATEN LASSEN:
07325-16 500

Mehr Informationen unter: **roehm.biz/ijaw**

HALLE 3
STAND I 06

Besuchen Sie uns auf der
EMO IN HANNOVER:
18.-23.09.2023

RÖHM

RÖHM GMBH ○ ROEHM.BIZ
INFO@ROEHM.BIZ ○ TEL +49 7325 16 0

Bild 1. Gemeinschaftsstände machen Trendthemen noch sichtbarer. Die Sustainability in Production Area stößt auf großes Interesse, weil sich Aussteller in diesem Feld neu positionieren. *Foto: VDW*

Weltleitmesse der Produktionstechnik

Digitalisierung und Nachhaltigkeit stehen im Fokus der Industrieproduktion

Der Slogan der diesjährigen EMO Hannover lautet „Innovative Manufacturing". Denn die Produktionstechnik ist keine Insiderveranstaltung, betont der Veranstalter: die Industrie leiste einen wichtigen Beitrag zur Lösung der drängenden Probleme unserer Zeit. Innovative Geschäftsmodelle, die Vernetzung von Menschen, Maschinen und das Internet der Dinge und auch die Nachhaltigkeit der Produktionstechnik. Diese Megathemen stehen im Fokus der Messe vom 18. bis zum 23. September in Hannover.

Zur EMO Hannover 2023 werden aktuell über 1.750 Aussteller aus 42 Ländern erwartet. Sie präsentieren vom 18. bis zum 23. September das gesamte Spektrum der Produktionstechnologie. Schwerpunkte bilden unter anderem Bearbeitungszentren und Drehmaschinen, Schneidwerkzeuge und Spannzeuge, Messmittel und Steuerungen. „Die Breite des technischen Angebots sucht auf internationalen Messen für Produktionstechnologie ihres Gleichen“, sagt Dr. *Markus Heering*, Geschäftsführer des VDW (Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken). Sie zeige, welche Herausforderungen in der Produktion bestehen: Höhere Effizienz, mehr Flexibilität, bessere Qualität, größere Genauigkeit, die Einbindung von KI, die umfassende Vernetzung in der Fabrik und vieles mehr.

Dr. Wilfried Schäfer, VDW: „Nach vier Jahren Pause kehrt die EMO nach Hannover zurück – mit neuem Konzept, neuem Auftritt und frischem Wind.“ *Foto: Schnell*

Dr. Markus Heering, VDW: „Die Breite des technischen Angebots sucht auf internationalen Messen für Produktionstechnologie ihres Gleichen.“ *Foto: Schnell*

Preview im Juli gibt erste Einblicke auf die Neuheiten

Anfang Juli hatte der VDW als EMO Hannover-Veranstalter zur großen Preview nach Frankfurt am Main eingeladen. 31 Aussteller der EMO Hannover gestatten bereits gut zehn Wochen vor dem Großereignis einen Blick hinter die Kulissen ihrer Messeneuheiten.

„Die EMO Hannover Preview findet zum ersten Mal in Frankfurt am Main statt. Die Veranstaltung hat Tradition und ist Höhepunkt und Abschluss unserer EMO Hannover World Tour. Seit Beginn des Jahres haben wir der EMO-Community in rund 60 Veranstaltungen in 40 Ländern von Japan bis Mexiko und von Finnland bis Südafrika die EMO Hannover 2023 vorgestellt“, begrüßte Dr. *Wilfried Schäfer*, Geschäftsführer beim VDW, die Gäste.

Markus Heering: „Unter dem Slogan Innovate Manufacturing haben wir dieses Jahr für die EMO Hannover drei Megathemen in den Fokus gerückt:

- The Future of Business,
- The Future of Connectivity
- und The Future of Sustainability in Production.

Sie sollen zeigen, dass die Produktionstechnologie keine Insiderveranstaltung für Expertinnen und Experten ist, sondern die Industrie ihren Beitrag zur Lösung der drängenden Probleme unserer Zeit leistet. Und das zeigen die Aussteller mit ihren technischen Lösungen hier auf der Preview und im September auf der Messe in einer beeindruckenden Vielfalt und Tiefe.“

AUF EINEN BLICK:

Gemeinschaftsstände:

- Additive Manufacturing
- Connectivity
- Cobots
- Sustainability in Production

Sonderstände:

- Bildung
- umati

Foren

(Halle 9 und 16):

- Geschäftschancen im indischen Markt
- New Digital Work – Chance oder Entmündigung?
- umati
- Energieeffizienz durch Digitalisierung
- E-Mobilität
- Klimaneutrale Produktion
- Potenziale zirkulärer Geschäftsmodelle
- Best Practices (Nachhaltigkeit)

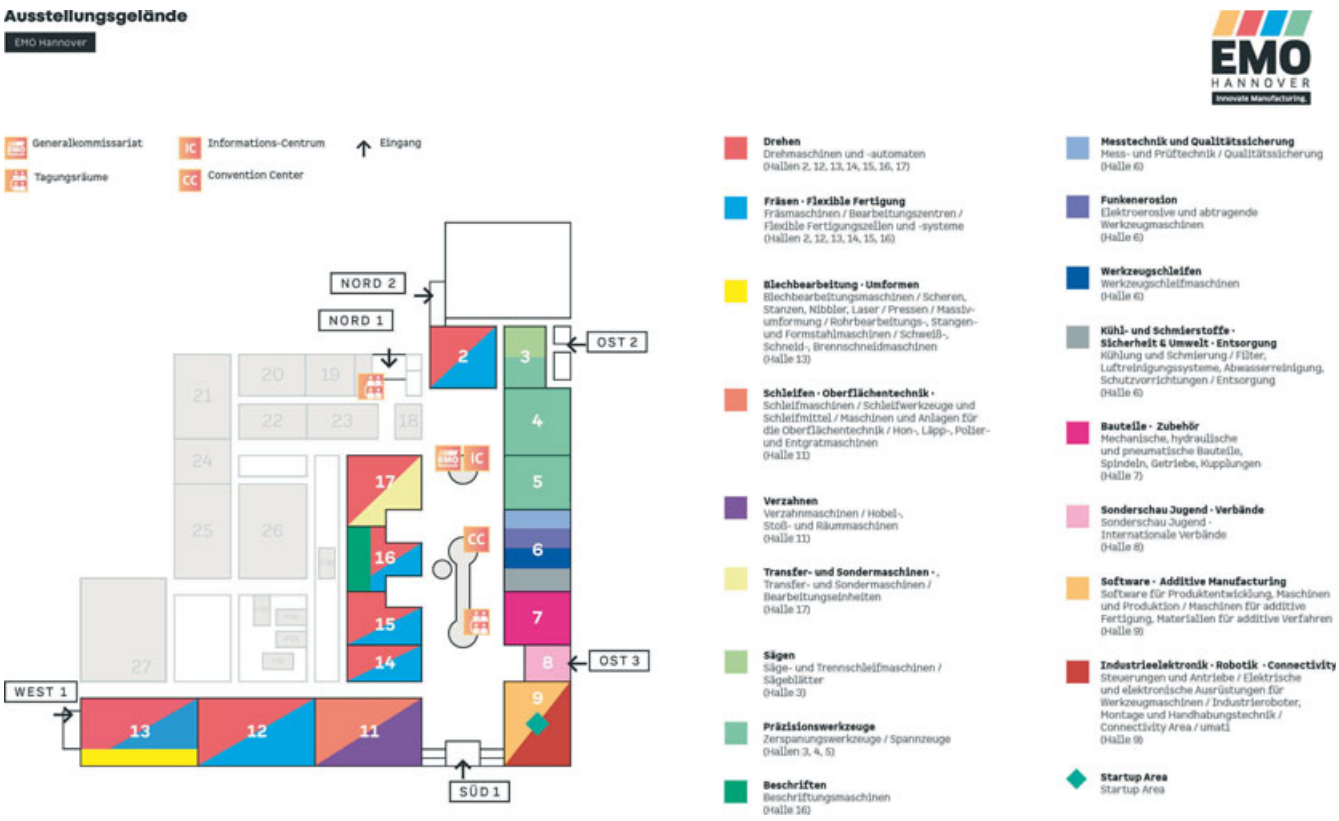
www.emo-hannover.de

(alle Angaben: Stand Juli 2023)

Gemeinschaftsstände machen Trends sichtbar

Damit Trendthemen noch besser sichtbar werden, bietet die EMO Hannover verschiedene Gemeinschaftsstände an: Additive Manufacturing, Connectivity, Cobots und Sustainability in Production. „Insbesondere Angebote zu neuen Themen wie die Sustainability in Production Area stoßen auf großes Interesse, weil sich Aussteller in diesem Feld neu positionieren wollen“, berichtet *Wilfried Schäfer*. Der Stand werde auch von Forschungsinstituten genutzt, die ihre Nachhaltigkeitsprojekte dort vorstellen.

Als Weltleitmesse der Produktionstechnologie zielt die EMO Hannover darauf ab, alle wichtigen Themen rund um die industrielle Wertschöpfungskette zu thematisieren, den Stand der Technik zu präsentieren und Szenarien für die künftige Entwicklung aufzuzeigen. „Im Fokus stehen neben den genannten Themen unter anderen die Fachkräftegewinnung auf dem Sonderstand Bildung. Das Angebot



Geländeplan EMO Hannover 2023, Stand 1. Juli 2023. *Quelle: VDW*

der Nachwuchsstiftung Maschinenbau wurde über die Berufsausbildung hinaus auch auf die Weiterbildung ausgeweitet“, führt *Markus Heering* aus. Der Sonderstand umati zeige den aktuellen Stand der Konnektivitätsinitiative des Maschinen- und Anlagenbaus als Basis für die effiziente Vernetzung in der Fabrik mit einer großen Livedemonstration. Die Startup Area schließlich fördere die zukunftsweisende Zusammenarbeit mit jungen Unternehmen, beschreibt Schäfer zwei weitere Beispiele.

Foren: Raum für Vorträge und Diskussionen

Ergänzt werden die Gemeinschaftsstände durch zwei Foren in Halle 9 und Halle 16 des Hannoveraner Messegeländes. Sie bieten Raum für Vorträge der Aussteller zu Technologiethemen und für die vertiefende Darstellung von Spezialthemen, die im Umfeld der Future Insights diskutiert werden. So stehen aktuell eine Konferenz zu den Geschäftschancen im indischen Markt und zwei halbe Tage unter dem Titel „New Digital Work – Chance oder Entmündigung?“ auf dem Programm. Beides vertieft Einzelaspekte zu Future of Business. Weitere Halbtage zu den Themen umati und Energieeffizienz durch Digitalisierung stehen für Future of Connectivity. Vorträge und Diskussionen zu E-Mobilität, klimaneutraler Produktion, Potenzialen zirkulärer Geschäftsmodelle und Best Practices im Hinblick auf Nachhaltigkeit in der Produktion schließlich greifen Aspekte von Sustainability in Production auf.

Die Vorträge sind eng verknüpft mit der EMO Hannover digital, die bereits im Vorfeld der Messe gestartet ist. „Die Vorträge, Konferenzen und Themenschwerpunkte werden zum Teil live gestreamt oder aber aufgezeichnet und stehen on demand über unsere Internetseite www.emo-hannover.de zur Verfügung, wie übrigens auch diese Preview. Damit wollen wir unseren Ausstellern eine größere Reichweite ermöglichen und den Besucherinnen und Besuchern, die vielleicht nicht alle Angebote wahrnehmen können, die vertiefenden Informationen und Diskussionen nicht vorenthalten“, erläutert *Wilfried Schäfer* vom VDW.

Digitale Chats und Meetings im Vorfeld

Die genannten Foren und Veranstaltungen bieten nicht nur tiefgehende Informationen, sondern fördern auch den Austausch und die Diskussion der Teil-nehmenden untereinander. Denn als Weltleitmesse der Produktionstechnologie ist die EMO Hannover wie keine andere Messe geeignet, das internationale Netzwerk mit Fertigungsexpertinnen und -experten auf Anbieter- und Kundenseite sowie aus der Wissenschaft auszubauen.

Dazu leistet bereits die EMO Hannover digital mit EMO-Sessions, digitalen Chats und Video-Meetings im Vorfeld, auch über geografische Grenzen hinweg, ihren Beitrag. Ergänzend bekommen alle Besucherinnen und Besucher ein Matchmaking-Angebot, wenn sie sich online auf www.emo-hannover.de im Ticketshop registrieren. Dort können sie ihr Profil und ihre Interessen hinterlegen und nach dem Match Termine mit Gleichgesinnten vereinbaren.

„Nach vier Jahren Pause kehrt die EMO nach Hannover zurück – mit neuem Konzept, neuem Auftritt und frischem Wind“, sagt *Wilfried Schäfer* abschließend. „Die Stimmung ist gut. Das hat die Preview gezeigt. Unsere Aussteller und wir als Veranstalter freuen uns sehr auf das Wiedersehen mit unseren Kunden und Geschäftspartnern.“

Kontakt

VDW e.V.
60528 Frankfurt a.M.
Tel. +49 69 756081-0
emo@vdw.de
www.emo-hannover.de

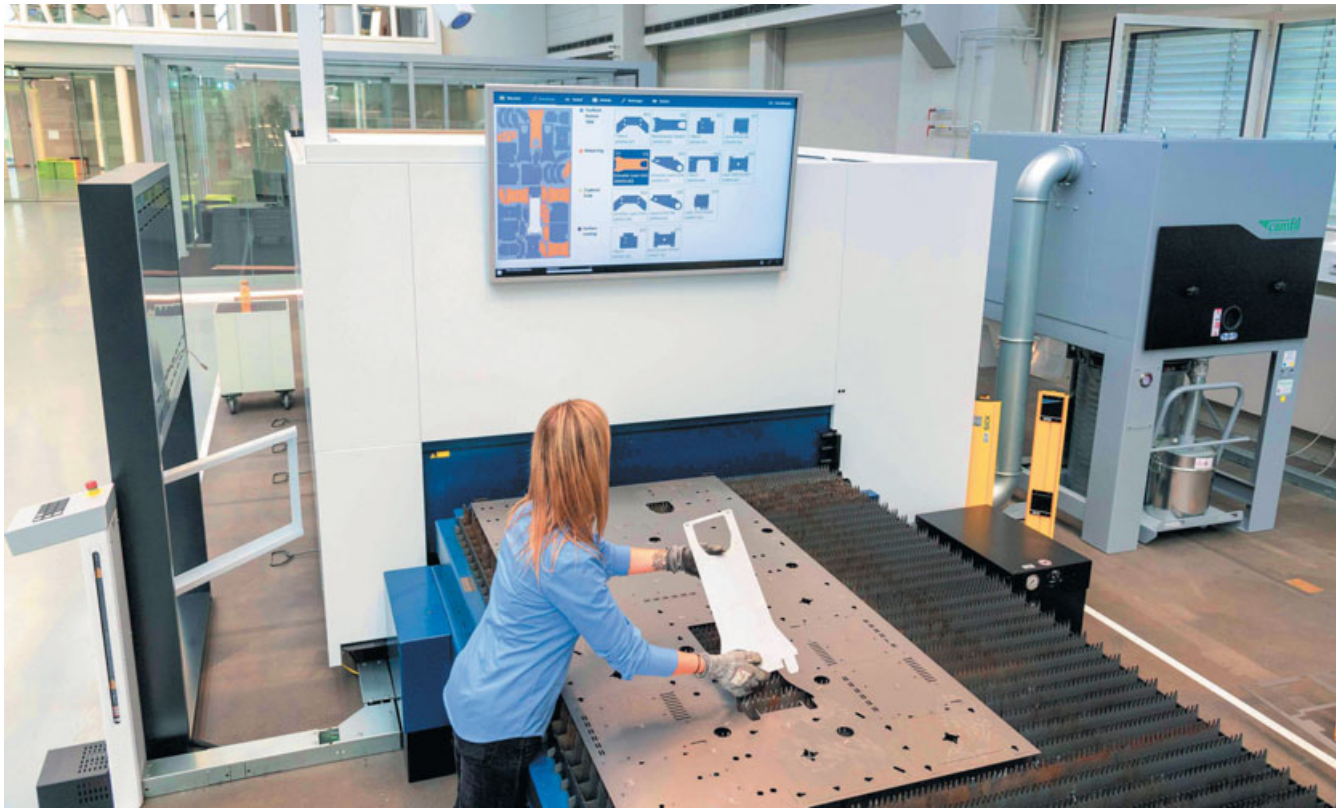
umati zurück auf der EMO Hannover

Zur EMO Hannover 2023 lässt sich konstatieren: umati ist wieder da – und zwar größer und umfassender als jemals zuvor. Die Community der mittlerweile über 300 umati-Partner zeigt in Hannover live, wie einfach dezentrale Kommunikation zwischen Maschinen, Komponenten und Software funktioniert – und zwar deutlich über die Werkzeugmaschine hinaus.
umati (universal machine technology interface) ist die globale Initiative für offene Kommunikationsschnittstellen für die Maschinenindustrie und ihre Kunden. Maschinenbauer, Softwarehersteller, Komponentenlieferanten und Anwender schließen sich zu einer starken Gemeinschaft zusammen, um den Einsatz offener, standardisierter Schnittstellen auf Basis von OPC UA Companion Specifications voranzutreiben. umati sorgt für deren identische Implementierung, bietet eine Plattform zum Erfahrungsaustausch, schafft Sichtbarkeit im Markt und demonstriert praxisnah die Mehrwerte.
Mittlerweile beteiligen sich über 300 umati-Partner an der umati-Community. Über die Hälfte dieser Partner sind mittlerweile Unternehmen oder Institutionen außerhalb Deutschlands, 80 % der Partner sind Unternehmen. Damit ist umati tatsächlich eine globale Initiative von Unternehmen für Unternehmen, und der einzige Standard, der den konkreten Datenaustausch in einem gemeinsamen, weltweit verfügbaren Datenökosystem live demonstriert.
Zentraler Anlaufpunkt auf der EMO Hannover wird der umati-Messestand in Halle 9, F24, sein. Mehrmals täglich finden Meet-the-Experts-Runden statt. Interessenten können sich beim umati-Team und Vertretern von umati-Partnerunternehmen aus erster Hand über die Hintergründe, Technik und den Nutzen offener, standardisierter Datenschnittstellen für den Maschinenbau informieren. Anhand verschiedener Exponate können sie zudem unmittelbar begreifen, wie ausgereift die technischen Lösungen mittlerweile sind. In unmittelbarer Nachbarschaft finden sich die Stände der OPC-Foundation und der Abteilung Machine Information Interoperability (MII) des VDMA. Dies repräsentiert den starken Dreiklang von OPC UA als Basistechnik, der vom VDMA vorangetriebenen Gobal Production Language in Form von OPC UA Companion Specifications für die zahlreichen Technologien des Maschinen- und Anlagenbaus, sowie umati für die Implementierung und Vermarktung.
Den eigentlichen Rahmen für die Livedemonstration schaffen aber die zahlreichen ausstellenden Partnerunternehmen, die sich mit ihren Maschinen, Komponenten und Softwarelösungen beteiligen werden. Für die EMO Hannover sind dies neben Herstellern von Werkzeugmaschinen auch Lieferanten für geometrische Messtechnik, additive Fertigung, Robotik, Bildverarbeitung und natürlich Softwarehersteller. Über einen QR-Code an jedem Gerät, das mit dem umati-Demonstrator verbunden ist, können sich alle Besucher selbst ein Bild machen, wie dessen Daten unmittelbar in die Demonstratorapplikation umati.app fließen. Dort werden sie mit Daten aus anderen Geräten einheitlich dargestellt und stehen somit für den Nutzer zur Verfügung. Auch Softwareanbieter können sich in diesen Datenfluss einbinden und unmittelbar und live den Nutzen ihrer Produkte basierend auf realen Daten aus dem Maschinen-pool der EMO Hannover demonstrieren.

Dr. **Alexander Broos**
Abteilungsleiter Forschung und Technik im VDW
Geschäftsführer VDW-Forschungsinstitut
Tel. +49 69 756081-17
a.broos@vdw.de
www.emo-hannover.de

UMATI AUF DER EMO HANNOVER:

- Mehrmals täglich: Meet the experts
- Exponate am Messestand
- Live-Demonstrationen am Messestand
- **Halle 9, Stand F 24**



Mit dem Sorting Guide von Trumpf sollen sich mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz Blechteile schnell und einfach sortieren lassen.
Foto: Trumpf SE + Co. KG

Lernende Maschinen sorgen für Effizienz in der industriellen Fertigung

Künstliche Intelligenz macht Fabriken clever

Seit dem Siegeszug des Chatbots ChatGPT ist Künstliche Intelligenz (KI) in aller Munde. Auch in der industriellen Produktionstechnik kommt KI mit großen Schritten voran. Lernende Maschinen machen die Fertigung effizienter. Wie funktioniert das genau? Das können Interessierte auf der EMO Hannover 2023 erfahren.

TEXT: *Daniel Schauber*

Können sich Produktionsmaschinen aus eigener Kraft optimieren? Können sie aus ihren Fehlern lernen? Und können sie sich Know-how von anderen Maschinen aneignen? Mit Künstlicher Intelligenz (KI) ist all das möglich. „Wir haben lange an der Optimierung unserer Prozesse in der Produktionstechnik gearbeitet und hier einen Wettbewerbsvorteil erzielt, den wir nun auch in der digitalen Transformation der industriellen Produktion erreichen sollten“, erklärt *Markus Spiekermann*, Abteilungsleiter Datenwirtschaft beim Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik ISST. Um den neuen Anforderungen zu begegnen, spiele KI eine „maßgebliche Rolle“, so *Spiekermann*. „Denn nur durch den Nutzen von KI-Methoden kann ein hoher Grad an Automatisierung erreicht werden.“

In der Industrie ist der Trend zur KI angekommen. Der Werkzeugmaschinenbauer J.G. Weisser Söhne GmbH & Co. KG beispielsweise setzt auf KI-Modelle, die vorausschauende Wartung von Drehmaschinen ermöglichen.

„Bei der vorausschauenden Wartung wird mithilfe von KI prognostiziert, wann ein Wartungsbedarf an einer Maschine entstehen wird, bevor es zu einem Ausfall kommt“, erklärt Dr.-Ing. *Robin Hirt*, Ge-

schäftsführer und Gründer des Karlsruher Start-ups Prenode GmbH.

Moderne Produktionsmaschinen können sich mithilfe von KI selbst optimieren, sagt *Hirt*. „Sie nutzen dazu in der Regel so genannte Machine-Learning-Methoden, die es ihnen ermöglichen, Muster und Zusammenhänge in den Produktionsdaten zu erkennen und daraus automatisch Verbesserungen abzuleiten." Auch das Lernen aus Fehlern und die Übernahme des Know-hows von anderen Maschinen sei so in vielen Fällen möglich.

Weil die Daten einer einzelnen Drehmaschine häufig nicht ausreichen, um ein präzises KI-Modell zu trainieren, kommt die Technik des Federated Learning zum Einsatz. Federated Learning ermöglicht es, mit dezentral gespeicherten Daten ein gemeinsames KI-Modell zu trainieren, ohne die Daten direkt auszutauschen. Die individuellen Daten verbleiben also auf den jeweiligen Anlagen und müssen nicht zentral an einem Ort, beispielsweise in einer Cloud des Maschinenherstellers, gespeichert werden.

Die KI-Modelle schätzen aufgrund aktueller Drehmaschinendaten den gegenwärtigen Zustand der Anlage ab und geben diesen an das Bedienpersonal weiter. Eingesetzt werden dabei neuronale Netze aus dem Bereich des Deep Learnings.

Mit Künstlicher Intelligenz funktioniert auch der Sorting Guide, ein System des Laserspezialisten Trumpf aus dem baden-württembergischen Ditzingen, das beim Sortieren produzierter Teile hilft und so die Maschinenauslastung steigern kann. Der Sorting Guide ist ein kamerabasiertes Assistenzsystem und setzt auf Dezentrales Machine Learning. Hauptbestandteile des KI-Systems sind eine hochauflösende Kamera, ein großer Bildschirm, ein Industrie-PC und eine intelligente Software zur Bildverarbeitung.

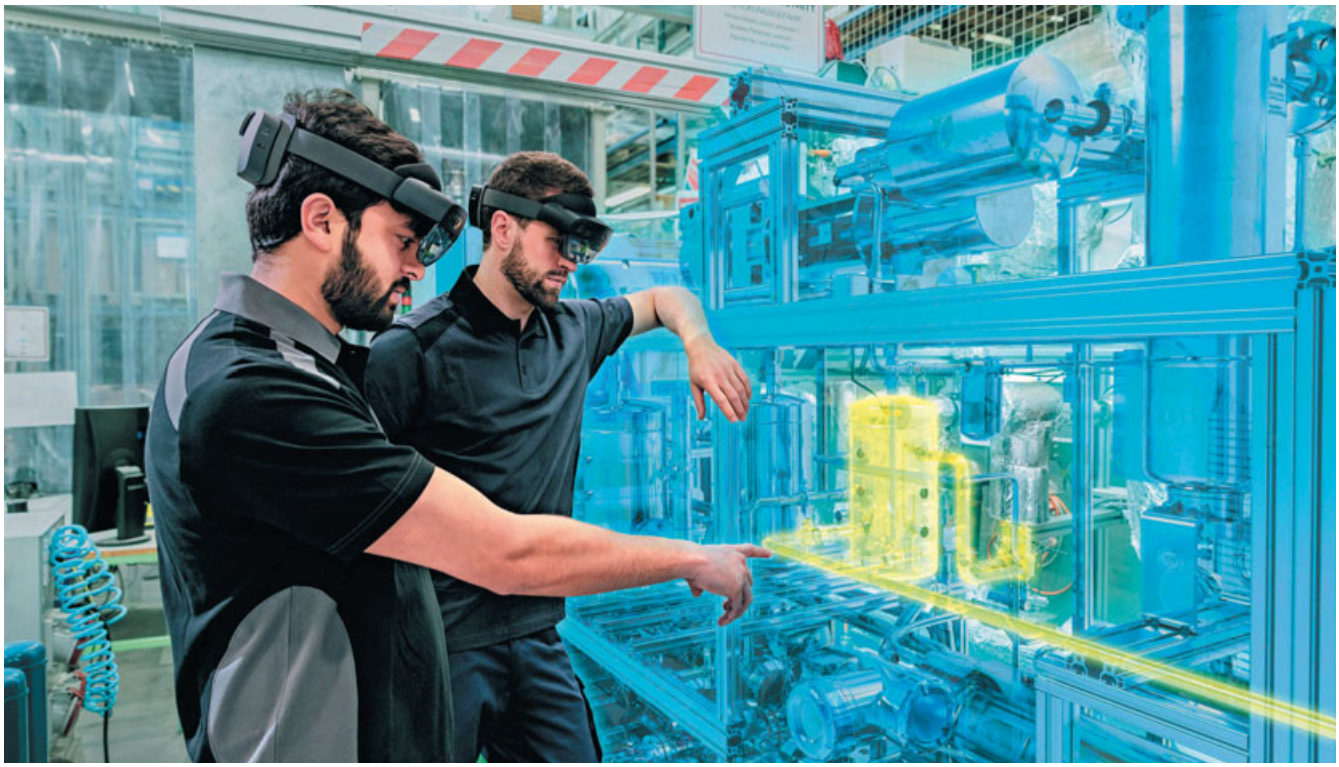
„Beim Dezentralen Machine Learning werden mehrere Maschinen miteinander vernetzt und bilden gemeinsam ein KI-System", erklärt Prenode-Geschäftsführer *Hirt* das Prinzip. Dabei sammeln die Maschinen kontinuierlich lokal Daten über ihre Arbeitsvorgänge. Dann wird für jede Maschine ein KI-Modell entwickelt, das anschließend zentralisiert wird. „In einer zentralen Cloud werden diese Modelle dann fusioniert und wieder in die einzelnen Anlagen zurück übertragen", so *Hirt* weiter. Das KI-System könne dann lokal auf alle Erfahrungen der anderen Maschinen zurückgreifen, ohne dass jemals sensible Rohdaten ausgetauscht werden müssten. „Auf diese Weise können die Maschinen ihre Arbeitsvorgänge effizienter gestalten und eine höhere Produktivität erreichen", verspricht *Hirt*.

Der Sorting Guide von Trumpf erkennt durch vorhandene Stammdaten und selbstlernende Bildverarbeitung entnommene Teile und gibt über den Bildschirm eine Empfehlung zum Absortieren. Weil die produzierten Teile auf dem Bildschirm farbig markiert sind, sieht das Bedienpersonal der Maschine sieht auf einen Blick, welche Teile bereit sind für die Weiterverarbeitung und wo gegebenenfalls die Nachproduktion eingeleitet werden muss.

Auf Künstliche Intelligenz setzt auch ein neues Verfahren, das den Werkzeugverschleiß in Zerspanungsprozessen, also etwa beim Bohren oder Fräsen, analysiert. Einerseits sollen die teuren Werkzeuge möglichst lange eingesetzt werden. Andererseits ist es wichtig, die Restlebensdauer genau abzuschätzen. Um den Verschleißzustand zuverlässig vorhersagen und so Zerspanprozesse optimieren zu können, haben Forscher der Technischen Universität Kaiserslautern ein Verfahren entwickelt, das das System anhand von realen Prozess- und Messdaten trainiert.

Die Daten, die das System zum Lernen braucht, werden bei fünf Partnerunternehmen erhoben – darunter sind Global Player ebenso wie kleine und mittlere Unternehmen. Dabei werden verschiedene Varianten durchgespielt, was etwa Werkzeug- und Werkstofftypen oder Prozessparameter betrifft, und so eine breite Datenbasis über die gesamte Lebensdauer bis hin zum Versagen des Werkzeugs erfasst.

Daniel Schauber
ist Fachjournalist, Mannheim. *Foto: Autor*



Mit der AR-Technologie von Holo-Light können neue Mitarbeiter an Maschinen geschult werden, ohne dass die reale Produktion unterbrochen werden muss. Außerdem können Servicetechniker bei ihrer Arbeit aus der Ferne angeleitet werden. *Foto: Holo-Light*

Etablierte Maschinenbauer kooperieren mit jungen Unternehmen

Start-ups ebnen den Weg zu neuen Geschäften

Greifsysteme nach dem Vorbild von Gecko-Füßen, VR-Brillen für Mitarbeiter-Schulungen, Cloud-Plattformen für die schnelle Bestellung von CNC-Bauteilen: Ideen von Gründern helfen großen Firmen dabei, ihre Prozesse zu optimieren und neue Umsatzquellen zu erschließen.

TEXT: *Patrick Schroeder*

Samstagmorgen, Frühschicht im Produktionswerk eines Automobilzulieferers. Die Hektik ist spürbar, als plötzlich die CNC-Fräse streikt. Jede Minute, die die Anlage stillsteht, verursacht finanziellen Verlust für das Unternehmen. Die Verärgerung wächst, als sich der Techniker durch den dichten Berufsverkehr kämpfen muss, um vor Ort zu sein. Eine Situation, die der Konkurrenzbetrieb aus dem Nachbarort nicht fürchten muss. Denn hier nutzt der Techniker die Vorzüge von Industrie 4.0. Er greift über das Internet auf die CNC-Fräse zu und identifiziert die Fehlerquelle. Nach nur fünf Minuten ist der Anlagenstillstand beendet.

Möglich wird diese Reaktionsschnelligkeit, weil der Maschinenbauer die Zeichen der Zeit erkannt hat und frühzeitig auf den Digitalisierungszug aufgesprungen ist. Er hat die Maschine mit Sensoren ausgestattet und in die Cloud eingebunden. In Kooperation mit einem Start-up, das auf Sensorik und Industrie 4.0 spezialisiert ist.

Ein Weg, den immer mehr Maschinenbauer gehen, um zum Gestalter disruptiver Umbrüche am Markt zu werden. Eine Mitgliederumfrage des Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) zeigt: 81 % der Maschinenbauunternehmen greift mittlerweile auf Netzwerkplattformen zurück, um Partner aus der Start-up Szene zu identifizieren. Die oft alteingesessenen Betriebe erhalten durch diese Zusammenarbeiten Zugang zu

neuen Technologien und Prozesswissen. Sie legen die Basis, um neuartige Produkte und Geschäftsmodelle jenseits des klassischen Kerngeschäfts zu entwickeln.

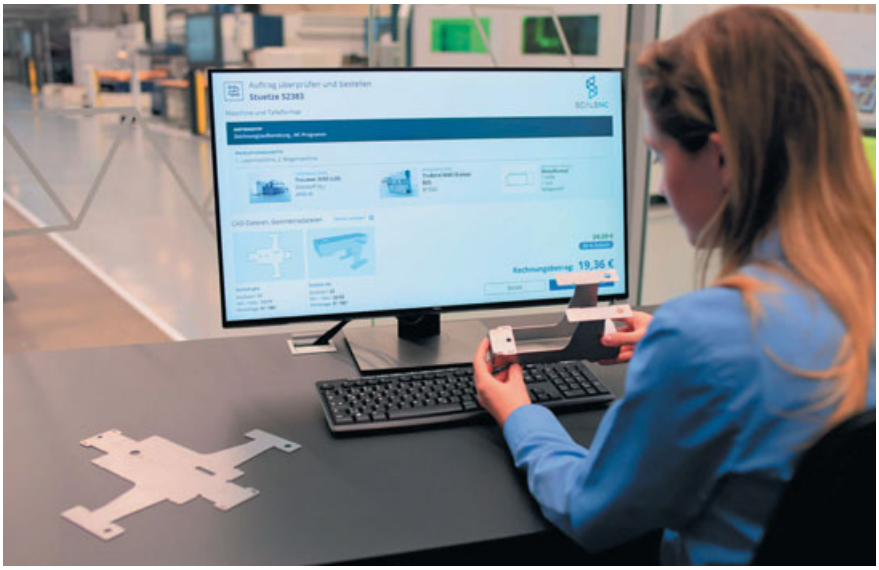
Besonders begehrt sind dabei Start-ups, die sich mit Technologiethemen der Zukunft auskennen – etwa mit dem Industrial Internet of Things (IIoT), cloud-basierten Dienstleistungen, Data Analytics und Künstliche Intelligenz.

Trumpf: „Wichtiger Baustein im Innovationskonzept“

Auch der Werkzeugmaschinenhersteller Trumpf setzt auf die Zusammenarbeit mit Start-ups. „Als Hochtechnologieunternehmen müssen wir die Entwicklung der Zeit nicht nur aufgreifen, sondern im Idealfall vorwegnehmen“, sagt *Niklas Hering*, Investment-Manager bei der Trumpf Venture GmbH. „Die enge Zusammenarbeit mit Start-ups bildet in diesem Zusammenhang einen wichtigen Baustein im Innovationskonzept von Trumpf und ergänzt optimal unsere Tradition der internen Innovation.“

Ein Beispiel für eine solche Zusammenarbeit ist die Kooperation mit ScaleNC, ein junges Unternehmen, das ein plattformbasiertes Dienstleistungsangebot für Blechverarbeiter entwickelt hat. Der Service funktioniert wie folgt: Kunden können Zeichnungen, Skizzen und Computer Aided Design (CAD) Modelle von Bauteilen, die es zu fertigen gilt, auf einer Cloud-Plattform hochladen. Experten für das Computer Aided Manufacturing (CAM) übernehmen dann aus der Ferne die Programmierung aller gängigen Trumpf-Maschinen für die Blechbearbeitung, unterstützt von Algorithmen. Somit wird es möglich, selbst anspruchsvolle CNC-Programme in kurzer Zeit zu erstellen.

„ScaleNC ist die Antwort auf den Fachkräftemangel. Viele unserer Kunden haben Schwierigkeiten, offene Stellen zu besetzen“, sagt *Tom Schneider*, Managing Director Research & Development bei Trumpf Werkzeugmaschinen. „Zusätzlich verschafft ScaleNC Kostenvorteile und unterstützt unsere Kunden dabei, ihre Wettbewerbsposition auszubauen.“ Ein Service, der weltweit auf Anklang stößt. „Der Bedarf an cloud-basierten Dienstleistungen wächst in der Industrie und wir freuen uns darauf, unsere Lösungen noch mehr Kunden zur Verfügung zu stellen“, sagt *Holger Röder*, Gründer und CEO von ScaleNC. Derzeit bereitet das Start-up den Markteintritt in den USA vor.



Die Online-Plattform von ScaleNC ermittelt aus CAD-Daten Steuerungsprogramme für Blechbearbeitungsmaschinen. Dabei helfen neben CAD/CAM-Experten auch KI-Algorithmen. *Foto: Trumpf*

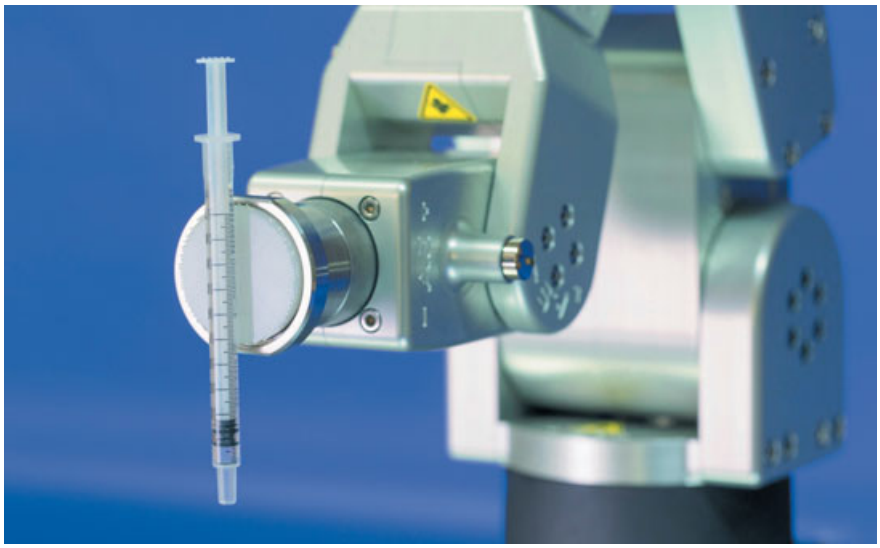
Festo: „Ein gutes Scouting ist der erste Schritt“

Wie wichtig Start-ups für die Zukunft der Maschinenbauer sind, weiß auch die Festo AG, ein Hersteller von Steuerungs- und Automatisierungstechnik aus Esslingen am Neckar. „Start-ups gewinnen auch im Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus eine immer wichtigere Rolle, insbesondere für mittelständische Firmen“, sagt *Jochen Schließer*, Leitung Innovation Projects und Networks bei Festo. „Ein gutes Scouting zu definierten Themen ist der erste Schritt in Richtung Zusammenarbeit.“ Seit 2014 arbeitet das Unternehmen mit Start-ups zusammen, um eigene Prozesse effizienter zu gestalten.

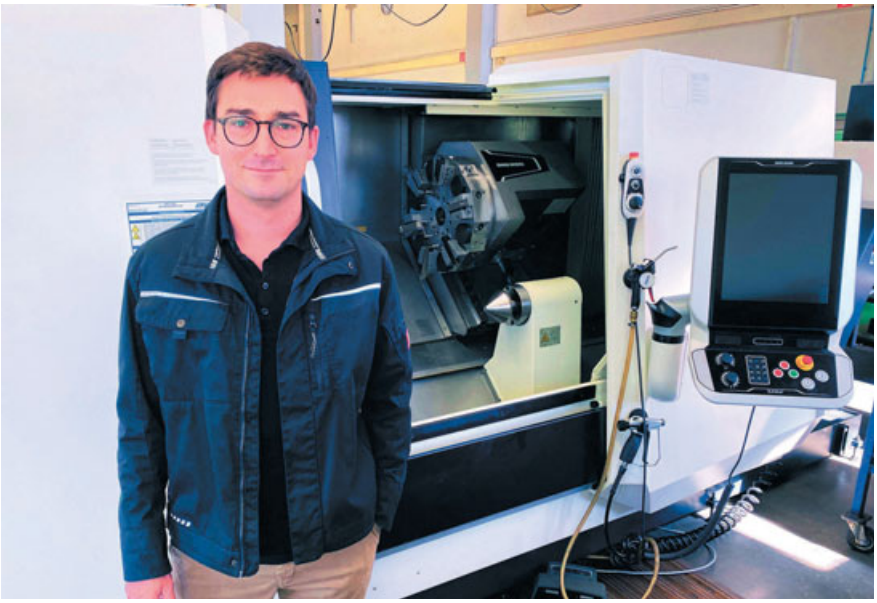
Ein Beispiel hierfür ist die Kooperation mit Holo-Light, ein deutsch-österreichisches Tech-Start-up aus Innsbruck, das auf Industrie-4.0-Lösungen mit Augmented-Reality (AR) Geräten spezialisiert ist. Zu diesen zählt die Microsoft Holo-Lens, eine AR-Brille, welche die Sicht des Anwenders um digitale Inhalte ergänzt. So wird es beispielsweise möglich, dass ein Techniker aus der Ferne in Echtzeit Reparatur- oder Montagehinweise in das Sichtfeld des Brillenträgers zeichnet. Welche weiteren Vorteile diese erweiterte Realität bietet, konnte Holo-Light im Rahmen eines Pilotprojekts bei Festo im Werk in Rohrbach beweisen. Normalerweise lernen dort Mitarbeiter den Umgang mit Technik an den Maschinen im Werk selbst. Der Nachteil: In dieser Zeit können die Geräte nicht produzieren. Die Alternative: Datenbrillen, die mit holographischen Bildern und Sprachanweisungen Mitarbeiter in einem Schulungsraum Schritt für Schritt durch Betriebsabläufe führen. So können die neuen Angestellten Montageprozesse und Sicherheitsregeln virtuell erlernen. Ohne Unterbrechung des Produktionsflusses.

Aus CAD-Daten wird ein Bauteil – per Mausklick

Zu den jungen Unternehmen im Bereich Maschinenbau zählt auch die Spanflug Technologies GmbH, ein Münchner Start-up, ausgegründet aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (IWB) der Technischen Universität München (TUM). Die Gründer widmen sich folgendem Problem: Wollen Betriebe ein CNC-gefertigtes Bauteil in Auftrag geben, geraten sie nicht selten ins Schwitzen. Denn besonders bei komplexen Geometrien ist die Kalkulation für Dreh- und Frästeile kompliziert und erfordert viel Zeit und Fachwissen. Ebenso die Suche nach einem Lieferanten, der genügend Kapazitäten hat. Somit verursacht der herkömmliche Beschaffungsprozess laut Spanflug im Durchschnitt Kosten in Höhe von 20 % der Bauteilkosten. Die Gründer haben sich deshalb das Ziel gesetzt, den Teilebeschaffungsprozess in der Fertigungsindustrie zu automatisieren.



Die Greifer von Innocite bestehen aus tausenden feinen Polymer-Härchen. Mit ihrer Hilfe lassen sich winzige Bauteile ebenso anheben wie hohe Gewichte. Eingesetzt werden können sie also bei der Mikromontage von Elektronikbauteilen oder auch zum Versetzen von großen Maschinenbauteilen. *Foto: Innocite*



Die Gründer der Spanflug Technologies GmbH: *Adrian Lewis* (links) und *Markus Westermeier*. Sie sorgen dafür, dass aus CAD-Daten in Windeseile reale Bauteile werden. *Foto: Spanflug Technologies GmbH*

Dafür hat das Start-up eine Online-Plattform ins Leben gerufen, der sich bereits über 200 CNC-Fertigungspartner aus Deutschland und Österreich angeschlossen haben. Schon über 3000 Kunden nutzen die Plattform, um Dreh- und Frästeile zu beschaffen. Sie können dort Informationen zu den gewünschten Bauteilen hochladen. „Unsere Software kalkuliert den Preis automatisiert auf Basis eines CAD-Modells und einer technischen Zeichnung“, erläutert *Markus Westermeier*, Mitgründer von Spanflug. Zudem findet die Plattform auch gleich einen qualifizierten CNC-Anbieter. Somit könnten Kunden den Bestellvorgang von Tagen auf wenige Minuten verkürzen und die Nebenkosten in der Beschaffung senken. Dank des digitalen und schlanken Prozesses könnten CNC-Betriebe die Bauteile schon ab sechs Arbeitstagen liefern.

Entsprechend begeistert zeigt sich auch einer der Investoren des Start-ups, der Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken (VDW). „Die Beteiligung bietet großes Potential, sowohl für unsere Mitgliedsunternehmen und deren Kunden als auch für den gesamten Maschinen- und Anlagenbau in Deutschland“, sagt Wilfried Schäfer, Co-Geschäftsführer des VDW. „Ziel ist es, durch die Nutzung der Spanflug-Technologie und den damit verbundenen Effizienzgewinn langfristig die Wettbewerbsfähigkeit der Fertigungsindustrie in Deutschland zu sichern.“

Feine Härchen tragen kleine Teile und schwere Lasten

Ein weiteres Beispiel für die Innovationskraft von Start-ups im Werkzeugmaschinenbau liefert Innocise aus Saarbrücken, hervorgegangen aus dem Leibniz-Institut für Neue Materialien. Die Ingenieure entwickeln neuartige industrielle Haltesysteme. Und nehmen dabei die Natur zum Vorbild. Genauer gesagt Geckos. Ihre Füße sind mit mikroskopisch feinen Haftorganen übersäht. Sie erlauben es den Schuppenkriechtieren, an glatten Oberflächen zu haften.

Verantwortlich dafür sind schwache Anziehungskräfte, die sogenannten Van-der-Waals-Wechselwirkungen. Diese temporären Kräfte nutzt Innocise für Haltesysteme, die ohne Unterdruck, magnetische Felder oder Adhäsive Bauteile aufnehmen können.

Das Herzstück der sogenannten Gecomer-Technologie: Eine patentgeschützte Oberflächenstruktur, die aus tausenden feinen Härchen aus Spezialpolymeren besteht. Sie macht es möglich, schwere Automotive- oder Maschinenbaukomponenten anzuheben.

Aber auch in der Mikromontage ergeben sich neue Möglichkeiten. So könnten Greifer dank der winzigen Polymerhärchen selbst Objekte händeln, die kleiner sind als 0,01 mm – etwa Bauteile von Leiterplatten, mikrooptische Komponenten oder Glasfasern. Die Objekte haften, wenn das Haltesystem die Härchen sanft andrückt. Und lösen sich bei erneutem Drücken oder Schieben. Eine Technologie, die auch Schunk überzeugt hat, ein Experte für Greifsysteme und Spanntechnik aus Lauffen am Neckar. Gemeinsam haben die Unternehmen einen Haftgreifer namens „Adheso“ entwickelt, der unter anderem dünne Folien oder poröse Bleche anheben kann.

Patrick Schroeder ist freier Journalist aus Paderborn.

Modellbasierte Identifikation von Prozessinstabilitäten mit prozessparalleler Datengrundlage

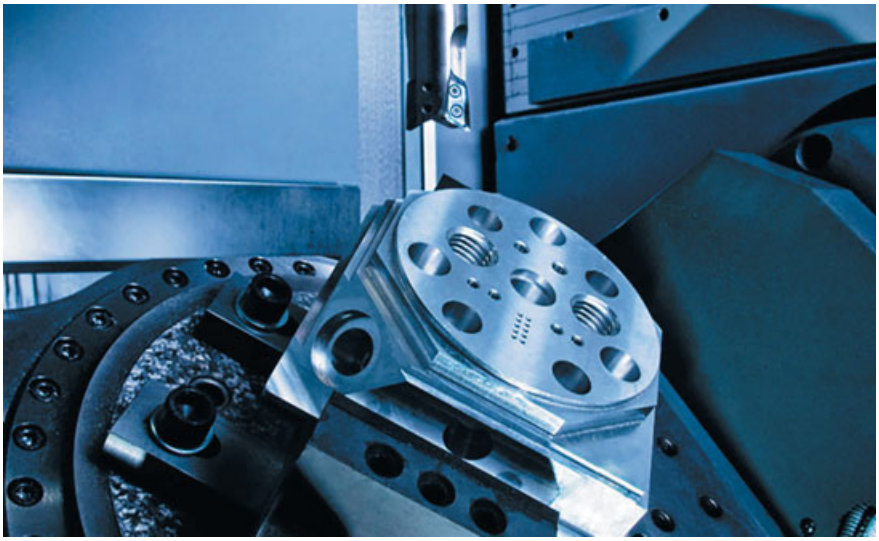
Onlinefähiges Ratter-Frühwarnsystem

Bei der Auslegung von Bearbeitungsprozessen führt ein zentraler Zielkonflikt aus Produktivität und Bauteilqualität häufig zu einer konservativen Prozessplanung. Ein wesentlich limitierender Faktor für die Produktivität ist das Auftreten von regenerativem Rattern. Durch ein Ratter-Frühwarnsystem an der Maschine kann die Prozessauslegung optimiert und die Ausschussquote gesenkt werden.

TEXT: *Christian Brecher, Marcel Fey, Marcel Wittmann*

Ein zentrales Ziel zur Steigerung des Nachhaltigkeitsbeitrags von Produktionsanlagen ist die effizientere Nutzung von Werkzeugmaschinen. Wird die Produktivität der Werkzeugmaschine gesteigert, beispielsweise durch eine verringerte Ausschussquote oder eine optimierte Prozessauslegung, kann die Anzahl erforderlicher Maschinen zur Erfüllung der Produktnachfrage reduziert werden.

Insbesondere das Auftreten von selbsterregten und sich regenerativ selbstverstärkenden Schwingungen (Rattern) limitiert die Produktivität. Die mit den Ratterschwingungen verknüpften Prozessinstabilitäten haben eine Vielzahl von negativen Auswirkungen auf den Bearbeitungsprozess. Dazu zählen eine verringerte Oberflächengüte, erhöhter Werkzeugverschleiß, eine Beeinträchtigung der Maßhaltigkeit und eine starke Lärmentwicklung. Um das vollständige Potential einer Werkzeugmaschine auszuschöpfen, wird ein System zur Rattervermeidung benötigt, welches hohe Produktivität bei gleichzeitiger Gewährleistung der Bauteilqualität sicherstellt.



Entwicklungsziel ist ein System zur Rattervermeidung in Werkzeugmaschinen. Die Genauigkeit des Frühwarnsystems wird im Folgenden in Zerspan-Versuchen bestimmt und soll den Zielkonflikt zwischen Produktivität und Bauteilqualität lösen. *Foto: WZL*

Prozessauslegung mit Stabilitätskarten

Ein Lösungsansatz liegt in der gezielten Vermeidung von Prozessinstabilitäten durch eine geeignete Wahl der Bearbeitungsparameter für den Prozess. Für die optimale Wahl der Prozessparameter stellen sogenannte Stabilitätskarten, die Stabilitätsgrenzen in Abhängigkeit von Schnitttiefe und Drehzahl darstellen, ein wichtiges Hilfsmittel dar (**Bild 1**).

Das Vorgehen zur experimentellen Ermittlung von Stabilitätskarten wurde in den letzten Jahren zwar optimiert [1], ist für eine Anwendung in der Kleinserienfertigung dennoch zu aufwendig und nicht wirtschaftlich, da für jede Kombination aus Werkzeug, Werkstück und Maschine eine neue Stabilitätskarte in Vorversuchen ermittelt werden muss. Mit dem Trend einer nachhaltigen und ressourceneffizienten Produktion ist dies nicht vereinbar.

Modellbasierte Stabilitätsberechnung

Um die hohen Aufwände von Versuchsreihen zu umgehen, können Stabilitätsgrenzen modellbasiert ermittelt werden. Dies geschieht auf Basis eines

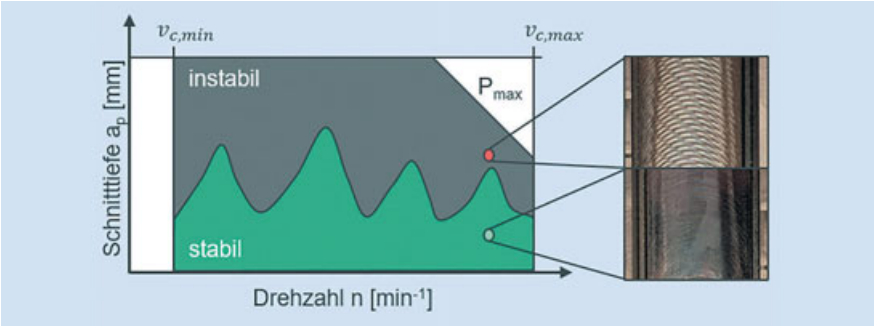


Bild 1. Schematische Darstellung einer Stabilitätskarte (links) und Auswirkung auf die Oberfläche eines bearbeiteten Werkstücks unter instabilen sowie stabilen Parametern. *Grafik: WZL*

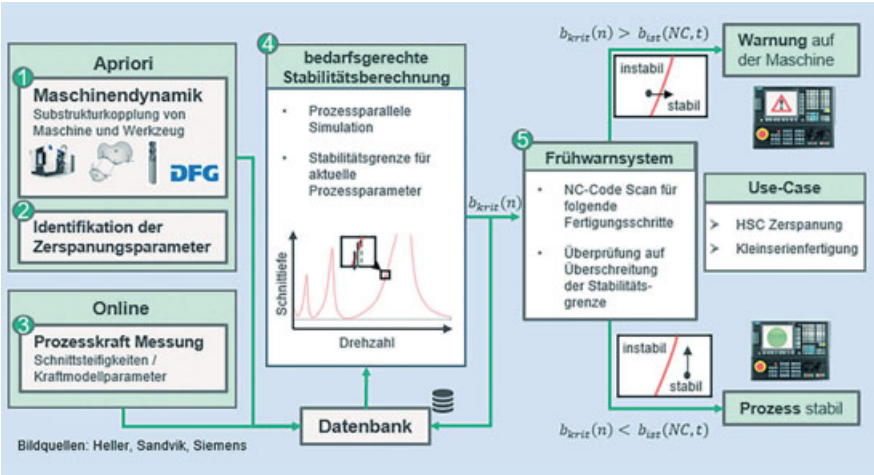


Bild 2. Gesamtübersicht der Methodik des Ratter-Frühwarnsystems in fünf Schritten. *Grafik: WZL*

analytischen Modells, welches die Wechselwirkung zwischen Maschine und Prozess beschreibt. Wesentlicher Nachteil des modellbasierten Ansatzes ist eine unsichere Datengrundlage, die sich auf Vorversuche und tabellierte Werte stützt.

In diesem Beitrag wird ein neues Konzept zur modellbasierten Online-Identifikation und Frühwarnung vor Prozessinstabilitäten für einen Fräsprozess vorgestellt. Der Nachteil einer unsicheren Datengrundlage wird durch die Nutzung prozessparallel aufgezeichneter Maschinendaten eliminiert. Das Frühwarnsystem liefert ein Werkzeug, um den vorliegenden Zielkonflikt zwischen Produktivität und Bauteilqualität zu lösen. Die prozessparallele Überprüfung der Stabilitätsgrenze unterstützt dabei insbesondere „First-Part-Right“ Ansätze zur Fertigung aufwendiger und teurer Einzelteile in einem ressourcenschonenden Ansatz. Die Methodik des Ratter-Frühwarnsystems ist in **Bild 2** dargestellt und umfasst fünf zentrale Bausteine.

1. Identifikation der Maschinendynamik

Für die modellbasierte Simulation liegt die zentrale Problematik in einer effizienten Abbildung der veränderlichen Dynamik des Maschine-Werkzeug-Werkstoff-Systems. Diese wird durch neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Substrukturkopplung gelöst [2]. Ein einmalig eingemessenes Modell der Werkzeugmaschine wird mit analytischen Werkzeugmodellen gekoppelt, um die experimentellen Messaufwände auf ein Minimum zu reduzieren.

2. Ermittlung der Zerspanungsparameter

Mit einer Durchdringungssimulation auf Basis eines 3D-Modells des Rohteils und dem NC-Code können Apriori die Zerspanungsparameter identifiziert werden. Hieraus können die für die Stabilitätssimulation erforderlichen Prozessgrößen wie beispielsweise die Schnitttiefe (a_p) und das radiale Schnitttiefenverhältnis (a_e), bezogen auf die unterschiedlichen Bearbeitungsschritte, extrahiert werden. Es folgt eine Segmentierung des Bearbeitungsprozesses anhand unterschiedlicher Werkzeuge und programmierter Prozessparameter. Anhand dieser Datengrundlage können die jeweils kritischsten Bearbeitungsparameter für unterschiedliche Segmente des Prozesses identifiziert werden.

3. Online-Kraftmodell-Parametrierung

Neben der Maschinendynamik ist die Kenntnis der Schnittsteifigkeiten erforderlich. Aufgrund der großen Fortschritte im Bereich der echtzeitfähigen Erfassung von Prozesskräften, bspw. durch spindelintegrierte Sensorik [3], können die Schnittsteifigkeiten prozessparallel parametriert werden. Dies erfolgt auf Basis eines Vergleichs von gemessener und simulierter Prozesskraft mit einem „Ensemble Kalman Filter“, welcher bereits für die Anwendung einer kontinuierlichen Parameteridentifikation analytischer Kraftmodelle im Fräsprozess etabliert wurde [4].

Durch eine prozessparallele Identifikation der Schnittsteifigkeiten können die für die Stabilitätssimulation erforderlichen Eingangsgrößen anhand der reellen Randbedingungen des laufenden Prozesses ermittelt werden. Dies bietet einen Vorteil gegenüber konventionellen modellbasierten Ansätzen, die die Stabilitätsgrenze Apriori simulieren und deren Datengrundlage sich auf Vorversuche oder tabellierte Werte stützt.

4. Bedarfsgerechte Stabilitätsberechnung

Die Stabilitätsgrenzen werden prozessparallel innerhalb einer bedarfsgerechten Simulation ermittelt. Bedarfsgerecht bedeutet, dass nur die aktuell relevanten Drehzahlen und Schnitttiefen des laufenden Bearbeitungsschrittes für die Stabilitätssimulation ausgewertet werden. Anders als bei konventionellen modellbasierten Ansätzen zur Stabilitätssimulation wird daher nicht die gesamte Stabilitäts-

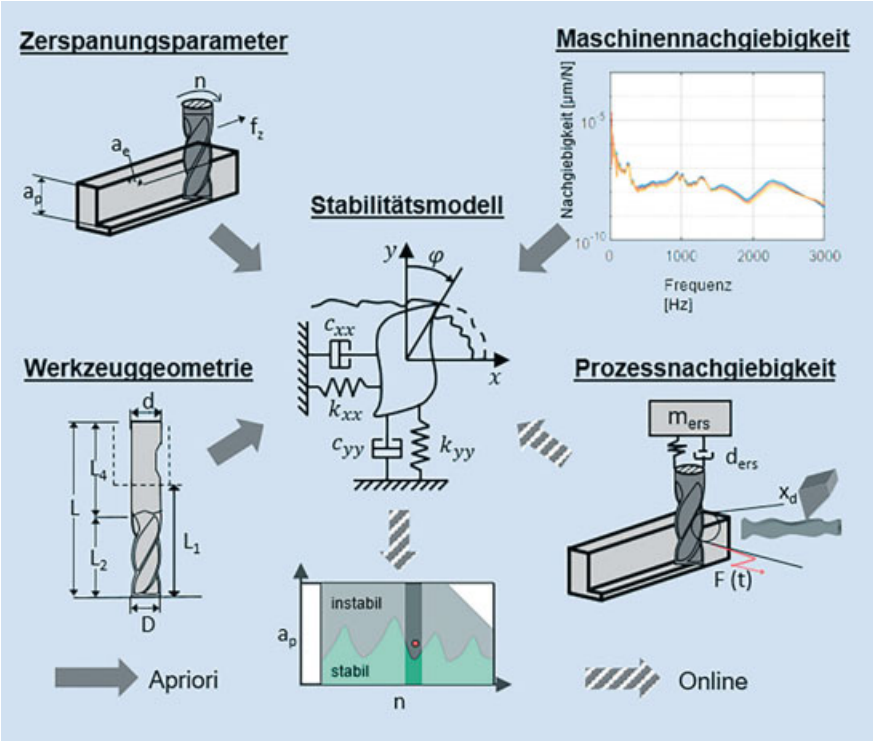


Bild 3. Übersicht der Eingangsgrößen für die Stabilitätsberechnung zur Auswertung der Stabilität um den aktuellen Arbeitspunkt. *Grafik: WZL*

karte, sondern nur ein Bereich um den aktuell relevanten Arbeitspunkt berechnet. Die erforderlichen Eingangsgrößen zur Stabilitätsberechnung sind in **Bild 3** dargestellt. Mit diesem Ansatz können die für den prozessparallelen Ansatz erforderlichen schnellen Rechenzeiten gewährleistet werden.

5. Frühwarnsystem

Auf Basis der berechneten Stabilitätsgrenze können zukünftige Bearbeitungsschritte in einer Art „Look-Ahead Funktion" auf eine Überschreitung der Grenze geprüft werden. Das Frühwarnsystem stellt eine online Funktionalität bereit, die während einer Bearbeitung vor potentiellen Prozessinstabilitäten im weiteren Bearbeitungsverlauf warnt. Die Aussage des Frühwarnsystems kann innerhalb von fünf Sekunden bereitgestellt werden. Anhand der Warnung kann das Auftreten von Prozessinstabilitäten durch einen Eingriff des Bedieners verhindert werden.

Fazit und Ausblick

Im Beitrag wurde eine neue Methodik für ein Online-Ratter-Frühwarnsystem vorgestellt. Die Kombination aus effizienter Ermittlung der Maschinendynamik und der prozessparallelen Datengrundlage bietet Vorteile gegenüber konventionellen Ansätzen zur modellbasierten Bestimmung von Stabilitätsgrenzen. Die Auswertung der Stabilität um den aktuellen Arbeitspunkt ermöglicht schnelle Rechenzeiten, die für den onlinefähigen Ansatz erforderlich sind. Eine Aussage des Warnsystems kann bereits nach wenigen Sekunden stattfinden.

In einem nächsten Schritt wird die Genauigkeit des Frühwarnsystems anhand von Zerspan-Versuchen untersucht. Die Versuche umfassen sowohl unterschiedliche Werkzeuge als auch Werkstoffe.

www.wzl.rwth-aachen.de

Funding Acknowledgements: Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – Projektnummer 467600151.

Literatur

[1] Brecher, C.; Chavan, P.; Epple, A.: Effiziente Ermittlung von Stabilitätskarten beim Fräsen. In: Fräsen und Bohren, 2018b, Nr. 5, S. 56–57.

[2] Brecher, C.; Chavan, P.; Fey, M.: Efficient joint identification and fluted segment modelling of shrink-fit tool assemblies by updating extended tool models. In: Production Engineering, 15. Jg., 2021, Nr. 1, S. 21–33.

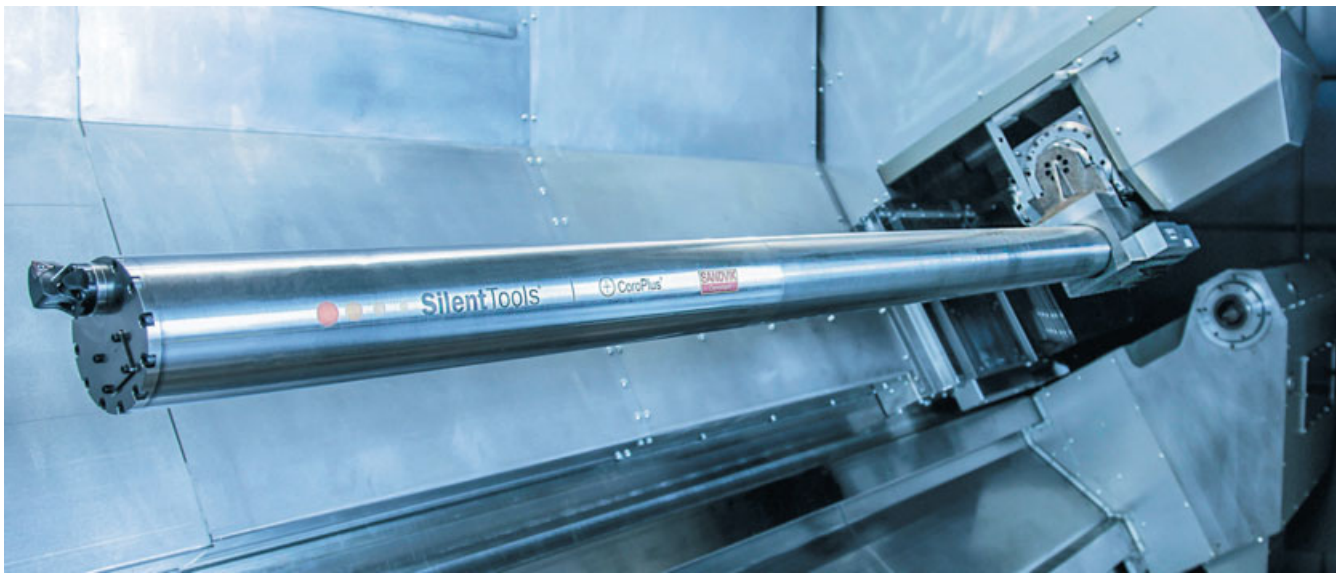
[3] Brecher, C.; Eckel, H.-M.; Fey, M.; Butz, F.: Prozesskraftmessung mit spindelintegrierter Sensorik. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 113. Jg., 2018a, Nr. 10, S. 660–663.

[4] Schwenzer, M.; Stemmler, S.; Ay, M.; Bergs, T.; Abel, D.: Continuous identification for mechanistic force models in milling. In: IFAC-PapersOnLine, 52. Jg., 2019, Nr. 13, S. 1791–1796.

Prof. Dr.-Ing. **Christian Brecher** ist Inhaber des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen. *Foto: WZL*

Dr.-Ing. **Marcel Fey** ist Oberingenieur und Leiter der Abteilung Maschinendatenanalyse & NC-Technik am WZL der RWTH Aachen. *Foto: WZL*

Marcel Wittmann, M. Sc. RWTH, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen am WZL der RWTH Aachen in der Abteilung Maschinendatenanalyse & NC-Technik. *Foto: WZL*



Connected: Die „Silent Tools Plus"-Bohrstange schafft eine Schnittstelle zwischen Werkzeug und Maschine und erlaubt eine automatisierte, digitale Bearbeitung. *Foto: WFL*

Schwingungsgedämpfte Sensor-Bohrstange mit Steuerungsintegration

Silent Tools erweitern Dreh-Bohr-Fräszentren

Die Geometrie von Werkstücken und die dabei eingesetzten Werkstoffe werden immer komplexer. Gefragt sind intelligente Lösungen, um die Transparenz beim Bearbeitungsprozess zu steigern und die Leistung von Werkzeugmaschinen besser zu nutzen.

TEXT: *Sabine Steinkellner*

Neben der wachsenden Komplexität der Bearbeitungsaufgabe verlangt der Markt darüber hinaus nach einer schnellen Reaktionsfähigkeit und hoher Flexibilität. Eine erhöhte Produktivität ist nicht nur ein Thema für Diskussionen – sie ist ein Anspruch der Kunden. Für Maschinenhersteller gilt es, diese Herausforderungen zu meistern.

Eine neue Lösung zur Bewältigung dieser Ausgabe ist die Bohrstange „Silent Tools Plus". Sie kommt mit bestem Erfolg auf den Komplettbearbeitungszentren eines österreichischen Werkzeugmaschinenspezialisten zum Einsatz. Die Lösung von Sandvik Coromant gibt dank der integrierten Sensoren Auskunft über Auslastung, Temperatur, Abdrängung sowie die erzielte Oberflächengüte. Beim Überschreiten der Grenzparameter greift sie adaptiv in den Bearbeitungsprozess ein. Durch die gewonnene Transparenz lassen sich die Abläufe deutlich optimieren.

Spezialist für Komplettbearbeitungsmaschinen

Die Maschinen aus Linz sind unter dem Markennamen „Millturn" bekannt, **Bild 1** – dieser setzt sich aus den beiden Begriffen „Milling" (Fräsen) und „Turning" (Drehen) zusammen. Sie vereinen zahlreiche Technologien in einer Maschine, sodass Umspannprozesse, die bei der Fertigung eines Bauteils auf mehreren Spezialmaschinen nötig sind, entfallen. Beim Drehen wird das Werkzeug für verschiedene Winkellagen und (durch Wenden der Werkzeugschneide) für Links- oder Rechts-Bearbeitung eingesetzt.

Beim Bohren kann die Bearbeitung mit innerer Kühlmittelzuführung axial, radial sowie in sämtlichen Winkellagen zur Drehachse ablaufen. Auch beim Fräsen ist die Zerspanung von Flächen und Nuten in allen Winkellagen möglich. Durch die Interpolation von bis zu fünf Achsen lässt sich jede geometrische Form herstellen. Möglich sind Abwälzfräsen, Nockenfräsen, Hubzapfenfräsen, Zirkulärfräsen und Drehfräsen. Weitere integrierte Technologien sind das In-Prozess Messen, Schleifen und Feinbearbeitung, Innenbearbeiten oder Stoßen. Bei dieser Vielfalt an Möglichkeiten und der Komplexität sind sichere Prozesse besonders wichtig.

Performancesteigerung inbegriffen

Der Einbau intelligenter Sensoren in Werkzeuge ermöglicht den Abruf von detaillierten Werkzeuginformationen oder Bearbeitungszuständen auf der Maschinensteuerung, dem Tablet oder dem PC, **Bild 2**. Unterschiedliche Sensoren, welche in der Bohrstange verbaut sind, geben zahlreiche Daten weiter. Die Übertragung der Signale läuft mittels Bluetooth ab, sodass die Maschine interaktiv auf ein festgelegtes Auslöseereignis reagieren kann. Zu Dokumentationszwecken lässt sich der Prozess visualisieren sowie dokumentieren und wird damit vollständig transparent. Völlig neu ist die Energieversorgung der Sensoren mit Induktivkopplung anstelle eines Akkumulators.

In der Bohrstange sind die integrierten Sensoren an unterschiedlichen Stellen angebracht. Der Schneidkopf ist mit einem Vibrationssensor ausgestattet: Vibrationen lassen sich dadurch bereits in einem frühen Stadium erkennen. Der Bediener oder die Maschinensteuerung kann in Echtzeit reagieren, die einhergehenden Probleme verhindern und somit die Ausschussrate und Nachbearbeitungen reduzieren. Mit dem in der Dämpfungseinheit verbauten Temperatursensor wird die tatsächliche Temperatur überwacht und angezeigt. Dies erhöht die Prozesssicherheit und sorgt für eine bessere Wartbarkeit der Bohrstange. Verbaut sind auch Sensoren, welche Auskunft über die Kraft geben, die auf die Bohrstange ausgeübt wird.

Perfekter Schutz von Maschine, Werkstück und Tool

In Kombination mit der Prozessüberwachung „iControl“ erhält der Maschinenbediener den ultimativen Schutz für Maschine, Werkstück und Werkzeug, um insbesondere bei der Ersatzteilfertigung oder kleinen Losgrößen eine zuverlässige und wirtschaftliche Fertigung sicherzustellen. Einerseits sollen Maschine und Werkzeuge mit maximaler Produktivität eingesetzt werden, andererseits muss der Prozess möglichst stabil und zuverlässig laufen. Die bis zu 16 zu überwachenden Prozesssignale werden von WFL entsprechend der Maschinenausstattung werksseitig konfiguriert und auf dem Steuerungsbildschirm live angezeigt. Wichtige Prozesssignale sind die Kräfte / Drehmomente der NC-Achsen und Spindeln, aber auch die Signale, welche von den integrierten Sensoren abgeleitet werden.

Bild 1. Das Zusammenfassen aller Bearbeitungs- und Messoperationen in einer einzigen „Millturn“-Komplettbearbeitungsmaschine steigert die Effizienz der Fertigung. *Foto: WFL*

Bild 2. Auf dem Bildschirm werden präzise Daten für Belastung, Oberfläche, Vibrationen und Temperatur im Dämpfungssystem sowie die Schnittzeit gezeigt. *Grafik: WFL*

Lernmodus für die Prozessgrenzen

Eine ideale Strategie bietet der Lernmodus von WFL iControl. Das Prozesssignal einer kompletten Bearbeitungssequenz mit der Silent-Tools-Plus-Bohrstange kann durch einen Lernschnitt erfasst werden. Durch die Zuordnung einer oberen und unteren Prozessgrenze wird das Toleranzband definiert, in dem sich das Prozesssignal bei der Bearbeitung bewegen muss. Werden diese Grenzen über- oder unterschritten, stoppt die Maschine. Beim Einsatz einer neuen Wendeschneidplatte lässt sich beispielsweise zu Beginn des Zerspanungsvorgangs mithilfe des Belastungssignals eine bestimmte Prozessgrenze setzen. Innerhalb weniger Millimeter erhält der Bediener Informationen über die Schnittkraft und kann eine Grenze inklusive Aufmaß setzen. Beim gesamten Zerspanungsprozess erkennt die Maschine automatisch eine Überlastung.

Ganzheitliche Lösungen

Die Fähigkeit, ganzheitliche Lösungen umzusetzen, ist für die Komplettbearbeitung besonders wichtig. In den größeren Maschinen der Millturn-Baureihe gibt es einen Zusatz-Kreuzschlitten zur Aufnahme einer großen schwingungsgedämpften Bohrstange. Diese kann mit einem Längen-Durchmesser-Verhältnis von bis zu 18 x D realisiert werden. Dieser Zusatzschlitten ermöglicht einen automatischen Werkzeugwechsel an der Vorderseite der Bohrstange, eine programmierbare Auskraglänge sowie „Ultra-High Pressure Coolant“ (UHPC).

www.wfl.at

Sabine Steinkellner
ist Head of Marketing bei der WFL Millturn Technologies GmbH & Co. KG in Linz/A.

Wie sich mit Spülkanälen Produktivitätssteigerungen erzielen lassen

Funkenerosion: Effizienz durch Sauberkeit

Funken schlagen, Blitze zucken, Partikel wirbeln umher – Funkenerosion ist das wohl spektakulärste Fertigungsverfahren der Produktionstechnik. Das kontaktlose Aufschmelzen erlaubt eine extrem feine Bearbeitung von Oberflächenstrukturen von Metallen.

TEXT: *Adrian Lobe, Sami Yabroudi*

Mithilfe eines Generators wird zwischen zwei Elektroden in einer nicht-leitenden Flüssigkeit, einem sogenannten Dielektrikum, eine Spannung angelegt. Dabei werden Funken zwischen zwei Werkstoffen erzeugt. Werkzeug und Werkstück berühren sich dabei nicht – und ihr Abstand, der sogenannte Arbeitsspalt, beträgt gerade einmal 100 Mikrometer. Das entspricht der Breite eines menschlichen Haars.

Vorteile und Anwendungsgebiete

Das abtragende Verfahren, das 1943 von dem sowjetischen Ehepaar *Lazarenko* entdeckt wurde, kommt unter anderem in der Zahnmedizin zum Einsatz. So werden durch Funkenerosion beispielsweise passgenaue Abutments gefertigt, die in den Kiefer als Verbindungselement von Implantaten geschraubt werden. Durch Funkenerosion können auch sehr harte Werkstoffe präzise bearbeitet und individuell angepasst werden, was gerade in der Zahntechnik wichtig ist: Passen die Kronen nicht, können sich dort Bakterien ansammeln und Entzündungen verursachen.

Während zerspanende Verfahren wie Bohren und Fräsen jedem Hobbyhandwerker ein Begriff sein dürften, wissen die wenigsten um die Schlüsselrolle, die Abtragverfahren für die Herstellung von Hochpräzisionsbauteilen in vielen industriellen Anwendungen spielen. Die Beispiele funkenerosiv hergestellter Mikrobohrungen reichen von Kühlluftbohrungen in Turbinenkomponenten über Kraftstoffeinspritzsysteme, Gasdüsen und Steuerventile in der Automobiltechnik bis hin zu Fadenführern und Spinndüsen in der Textilindustrie. Im Bereich ihrer Haupt-

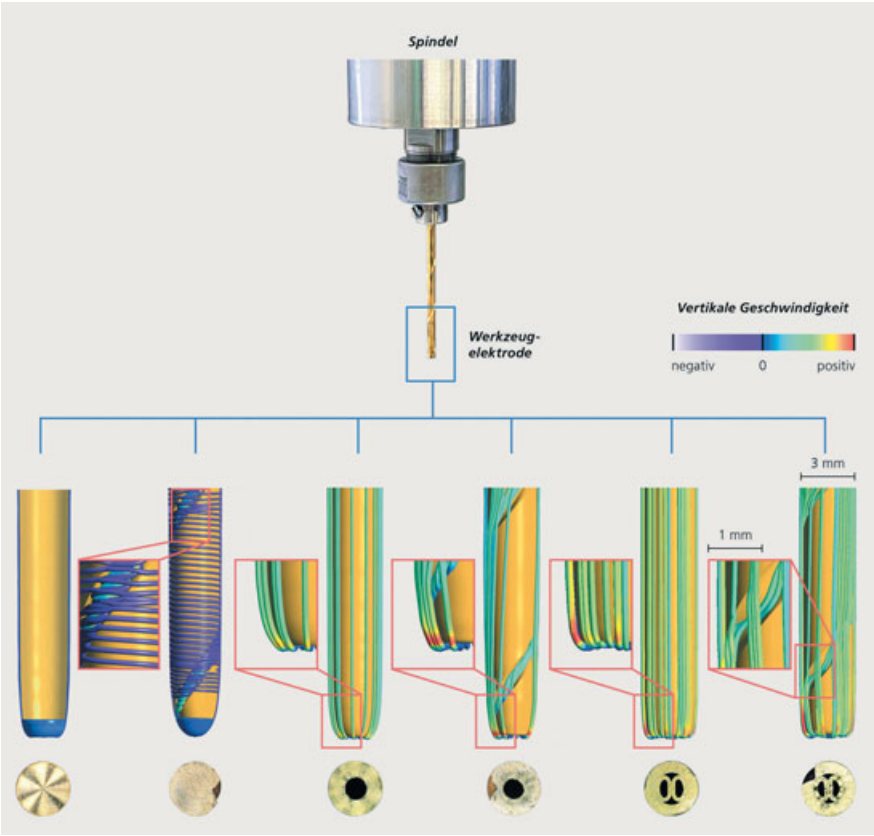


Bild 1. Einphasige Strömungssimulationen von sechs verschiedenen Werkzeugelektroden.
Grafik: IWFTU Berlin

anwendungsgebiete – dem Werkzeug- und Formenbau, in der Luft- und Raumfahrt sowie der Medizintechnik – wird die Funkenerosion meist als letzter Arbeitsschritt vor der Reinigung der Bauteile genutzt.

Was beeinträchtigt die Qualität?

Das Verfahren bringt einige Herausforderungen mit sich: Bei jedem Funken entstehen Gasblasen und Abtragpartikel, die im Dielektrikum herumschwimmen und die Gefahr von Kurzschlüssen und Lichtbogenentladungen bergen. Diese Entladungen ziehen nicht nur zusätzliche Regelschritte oder Rückzugsbewegungen nach sich, sondern können durch Einbrände auch zur Beschädigung der finalen Bauteiloberflächen führen. Je schmutziger der Arbeitsspalt, desto instabiler wird der Prozess und desto mehr sinkt die Produktivität. Sauberkeit ist daher das „A und O“ – auch bei der Funkenerosion.

Um die Abtragprodukte zu beseitigen, muss der Spalt daher kontinuierlich gespült werden. Beim etablierten Verfahren der Innenspülung wird die nicht-leitende Flüssigkeit mit hohem Druck in den Arbeitsspalt hineingepresst. Dabei werden die Abtragspartikel und Gasblasen senkrecht hinausgespült. Je höher der Druck ist, desto größer wird jedoch die Gefahr von Seitenentladungen und Instabilitäten innerhalb der Mikrobohrungen. Die Folge sind Formabweichungen und schiefe Bohrungen.

Abhilfemaßnahmen

Um diesen hochkomplexen und stetig wachsenden Herausforderungen beim funkenerosiven Bohren zu begegnen, werden am IWF der TU Berlin Zusatzeinrichtungen, Werkzeugelektroden und Technologien für alternative Dielektrika entwickelt. Ein Beispiel ist die Einbringung außen liegender Spülkanäle in die Mantelflächen zylindrischer Werkzeugelektroden. Dazu wurde mit einem speziellen Langdrehautomaten eine helikale Nut in die Werkzeugelektrode gefräst, die sich spiralförmig um den Messingschaft windet. Durch diesen Helixkanal entsteht quasi eine Ausweichroute für die Gasblasen und Abtragspartikel. Wird nun mit hohem Druck ein Dielektrikum durch den

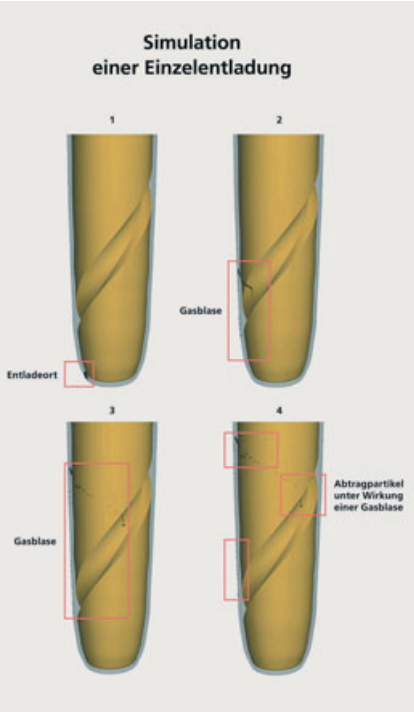


Bild 2. Dreiphasensimulation aus Dielektrikum, Partikeln und einer Gasblase; Abtragpartikel steigen unter Wirkung des Spüldrucks und einer Gasblase im Arbeitsspalt auf.
Grafik: IWF TU Berlin

Arbeitsspalt gepresst, werden die Partikel nicht mehr nur senkrecht über den kürzesten Weg ausgeleitet, sondern können über die Außenkanäle austreten. So sinkt das Risiko für seitliche Entladungen und ungenaue Bohrungen.

Forschung zur Strömungsdynamik

In einem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Grundlagen-Forschungsprojekt soll ein generelles Verständnis der strömungsdynamischen Vorgänge im Arbeitsspalt erarbeitet werden. Das forschungspraktische Problem: Der Spalt misst weniger als 0,1 mm, ist damit extrem klein und nur schwer zugänglich. Detaillierte optische Untersuchungen der Spülbedingungen sind daher kaum möglich. Im Rahmen von Signalanalysen, bei denen Prozesssignale der Spannung und des Stroms aufgezeichnet werden, lassen sich jedoch Rückschlüsse auf die Entladungen ziehen – und damit auf die Frage, wie effektiv die Evakuierung der Abtragsprodukte ist.

Demgegenüber bieten Strömungssimulationen zeitlich und örtlich unbeschränkte Einblicke in die hochkomplexe Dynamik der Funkenerosion, **Bild 1**. Mittels eines statistischen Modells konnte ein strömungsmechanischer Arbeitspunkt identifiziert werden, der die (für ein optimales Wirkverhalten der helikalen Nut notwendige) Kombination aus Drehzahl und Spüldruck definiert, **Bild 2**. So kann verhindert werden, dass die Abtragsprodukte aufgrund eines zu hohen Spüldrucks ungeachtet der helikalen Nut einfach senkrecht die Bohrung verlassen.

Mit der geeigneten Kombination aus Drehzahl und Spüldruck lässt sich nachweisen, dass Teile der Abtragspartikel unabhängig vom modellierten Entladeort durch lokale Unterdrücke in die helikale Nut gesaugt werden und auf diesem Weg die Bohrung verlassen. Die Erweiterung des Modells um Gasblasen bestätigt bekannte Beobachtungen, wonach die aufsteigenden Gasblasen die Abtragspartikel auf ihrer Phasengrenze aufschwimmen lassen und die Evakuierung des Arbeitsspalts damit erheblich beeinflussen.

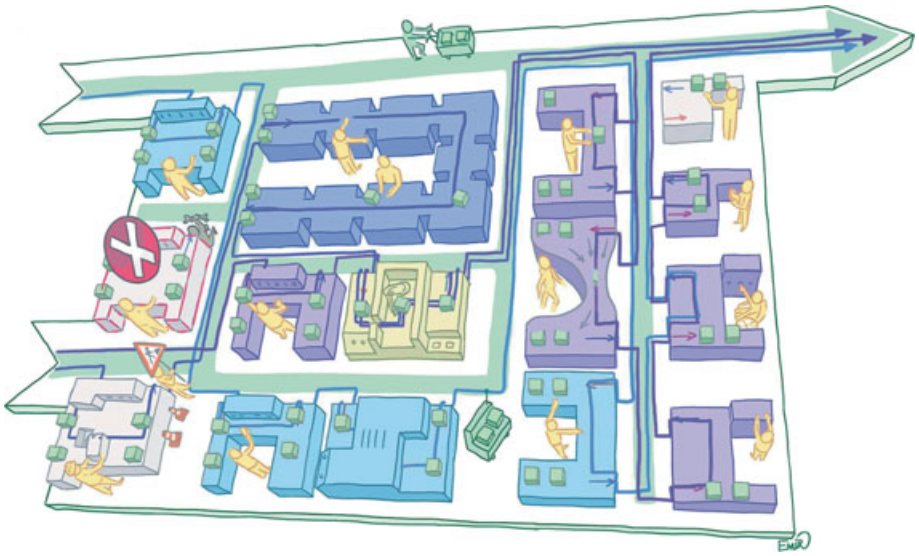
Fazit

Durch die Kombination klassischer, experimenteller Bohrversuche mit softwaretechnisch anspruchsvollen Klassifizierungen der Signalcharakteristiken – und nicht zuletzt mit fortschrittlichsten numerischen Modellen – lassen sich mit außenliegenden Spülkanälen Produktivitätssteigerungen im Bereich des funkenerosiven Bohrens erzielen. Wer „ordentlich durchspült“, hat am Ende auch saubere Ergebnisse.

www.iwf.tu-berlin.de
www.ipk.fraunhofer.de

Adrian Lobe ist freier Journalist und befasst sich schwerpunktmäßig mit digitalen Technologien und ihren Auswirkungen auf die Gesellschaft. *Foto: Autor*

Sami Yabroudi ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb IFW (Fachgebiet: Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik) der TU Berlin.



Mit einem Matrixproduktionssystem kann den zunehmenden Anforderungen des Marktes – beispielsweise steigender Variantenvielfalt, häufigen Änderungen der Produkte und schlecht prognostizierbaren Kundenbedarfen – erfolgreich begegnet werden. *Grafik: Fraunhofer IPA*

In der Umsetzung zeigt sich der hohe Nutzen

Matrixproduktionssysteme sind flexibel und produktiv

Wie können produzierende Unternehmen schneller auf globale Krisen reagieren, mit Lieferengpässen zurechtkommen und zugleich auf individuelle Kundenwünsche eingehen? Cyberphysische Matrixproduktionssysteme gelten als Schlüssel zu einer flexiblen und gleichzeitig produktiven Produktion, die Unternehmen hilft, ihre Resilienz zu steigern und damit auch in turbulenten Zeiten zu bestehen.

TEXT: *Susann Kärcher*

Krisen- und kriegsbedingte Unterbrechungen der Lieferketten, kurzfristige Stornierungen oder Veränderungen der Bestellungen, ein Trend zu immer kleineren Auftragslosen und eine zunehmende Individualisierung der Produkte gehören heute zum Alltag vieler produzierender Unternehmen. Gleichzeitig müssen Unternehmen ihre Produktivität steigern, um im globalen Wettbewerb bestehen zu können. Cyberphysische Matrixproduktionssysteme bieten eine Antwort auf Marktveränderungen, wie sinkende Stückzahlen, steigende Variantenvielfalt und schlechte Prognostizierbarkeit von Kundenbedarfen. Das haben die Fraunhofer-Institute IPA (Institut für Produktionstechnik und Automatisierung) in Stuttgart und IWU (Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik) in Chemnitz gemeinsam im Auftrag der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften acatech in einer Expertise zur Umsetzung von cyberphysischen Matrixproduktionssystemen herausgefunden. Sie kann kostenlos heruntergeladen werden, **Bild**.

Was sind Matrixproduktionssysteme?

Der Begriff Matrix stammt ursprünglich aus der Mathematik und beschreibt eine rechteckige Anordnung von Objekten in Zeilen und Spalten. Produktionstechniker verstehen unter einer Matrix eine schachbrettförmige Anordnung von sogenannten Prozessmodulen. Ein Prozessmodul kann etwa eine automatisierte Station, eine manuelle Station, eine hybride Station oder auch ein Linienabschnitt sein. Die Prozessmodule sind frei anfahrbar, logistisch individuell beplanbar und über einen flexiblen Materialfluss verbunden. Anders als bei einer klassischen Linienproduktion werden im Matrixproduktionssystem auch Rückflüsse erlaubt. Allerdings werden die Prozessmodule dennoch grundsätzlich im Fluss angeordnet. An jedem Prozessmodul können bestimmte Prozesse ausgeführt werden. Oft werden diese Prozessmodule auch redundant geplant.

Eine entscheidende Besonderheit des Matrixproduktionssystems ist die Flexibilität der Operationsreihenfolge. Das bedeutet, es wird im Vorfeld nicht festgelegt,

wie ein Auftrag durch das Produktionssystem läuft, bzw. an welchen Prozessmodulen die notwendigen Prozessschritte für ein Produkt ausgeführt werden. Die Operationsreihenfolge wird also ad hoc bestimmt. So können etwa bei Störungen einzelner Prozessmodule andere Prozessmodule angefahren werden oder Prozesse später ausgeführt werden. Der Transport der Produkte kann in einem Matrixproduktionssystem manuell oder automatisiert erfolgen.

Flexibel und produktiv

Klassische Produktionslinien kommen bei Änderungen, zum Beispiel der Integration einer neuen Produktvariante oder Veränderungen der Stückzahlen, meist an ihre Grenzen. Ihnen fehlt die Flexibilität. So können etwa Taktzeitspreizungen nicht mehr abgefangen werden und oder die Integration einer neuen Produktvarianten ist nur schwer möglich. Einzelarbeitsplätze hingegen sind zwar sehr flexibel, allerdings wenig produktiv.

Matrixproduktionssysteme erlauben eine flexible Produktion bei gleichzeitig hoher Produktivität. Verschiedene Produktvarianten werden in einem Produktionssystem hergestellt bzw. montiert, ohne eine hohe Verschwendung nach sich zu ziehen. Bei Stückzahlschwankungen kann ein Ausgleich zwischen verschiedenen Produktvarianten erfolgen. Durch ein Hinzufügen oder Entfernen von Produktionsmodulen können im Rahmen einer Rekonfiguration auch Anpassungen der Ausbringungsmenge vorgenommen werden. Neue Produktvarianten und neue Technologien lassen sich aufwandsarm integrieren. Die Auslastung der Produktionsmitarbeitenden wird im Matrixproduktionssystem optimiert. Auch kann man durch gemeinsam genutzte Produktionsressourcen die Anlagenauslastung erhöhen – so lohnt sich eine Automatisierung häufiger.

Cyberphysisch vernetzt

Eine cyberphysische Vernetzung der Module unterstützt das Matrixproduktionssystem. Im virtuellen Raum gibt es einen Digitalen Zwilling, der die Produktionsprozesse und Fertigungsmodule abbildet. Durch ihn lassen sich etwa die Materialflüsse, die Auslastung der Mitarbeitenden und die Maschinenbelegung optimieren. Mithilfe der Simulationsergebnisse werden dann die realen – physischen – Module gesteuert.

Ein kostenloser Download der acatech-Expertise „Umsetzung von cyberphysischen Matrixproduktionssystemen" ist möglich unter: www.ipa.fraunhofer.de/matrix-expertise.
Grafik: Fraunhofer IPA

Matrixproduktionssysteme werden seit vielen Jahren am Fraunhofer IPA erforscht. In den letzten Jahren gelang der Sprung in die industrielle Praxis.

Erfolgsbeispiele belegen die Chancen

Gelungene Beispiele einer umgesetzten Matrixproduktion, etwa in der Halbleiterindustrie, der Elektronikproduktion oder der Automobilindustrie – sie sind in der Expertise erläutert – zeigen, dass sich bei der Umstellung auf ein Matrixproduktionssystem Verbesserungen zum bestehenden Produktionssystem erreichen lassen. Dabei haben die Lösungen in vielen der Unternehmen, die Matrixproduktionssysteme einsetzen, bereits einen hohen Reifegrad. Dieser bemisst sich beispielsweise am modularen Aufbau der Produktionseinheiten, am Umsetzungsgrad eines Digitalen Zwillings, am Einsatz automatisierter Transportsysteme sowie an der Rekonfigurierbarkeit des Ablaufs, die eine schnelle Anpassung der Produktion an veränderte Anforderungen des Markts erlaubt. Ein Ergebnis der Expertise ist, dass Matrixproduktionssysteme eine wirtschaftliche Produktion bei schwierigen Marktanforderungen ermöglichen und dass Unternehmen mit verschiedenen Produktionsprozessen aus unterschiedlichen Branchen diese bereits teilweise oder auch schon vollständig umsetzen.

Komplettlösungen für KMU fehlen

Was bisher fehlt, sind marktreife Komplettlösungen. Einzellösungen für Matrixproduktionssysteme werden auf dem Markt angeboten, jedoch keine Gesamtpakete inklusive Integration. Die Unternehmen, die mit den neuen, modularen Systemen arbeiten, haben diese oft selbst entwickelt. Kleine und mittelständische Unternehmen (KMU), die sich keine eigene Technologieentwicklung leisten können, haben das Nachsehen. Einzellösungen müssen aufwendig in ein Gesamtsystem integriert werden. Das Fraunhofer IPA hat sich dieses Problems angenommen

Matrixproduktionssysteme bieten große Chancen. Grundsätzlich liegt das Potential überall dort, wo eine hohe Flexibilität bei gleichzeitig hoher Produktivität benötigt wird. Mit einem Matrixproduktionssystem kann den Anforderungen des Marktes – wie etwa steigender Variantenvielfalt, häufigen Änderungen und schlecht prognostizierbaren Kundenbedarfen – erfolgreich begegnet werden.

Mit der Matrix ergeben sich neue Freiheitsgrade für die Gestaltung, Planung und Steuerung des Montagesystems. Gängige Planungsmethoden im „Lean-Line Design" sind nicht 1-zu-1 auf die Matrixproduktion übertragbar. Das bloße Auseinanderziehen vormals verketteter Stationen und das Auslagern von Sonderausstattungen in Nebenstationen schöpft das Potential bei Weitem nicht aus. Das Fraunhofer IPA hat daher prozessorientierte Methoden entwickelt, um Matrixproduktionssysteme zu planen.

Weitere Informationen gibt es unter: https://www.ipa.fraunhofer.de/de/Kompetenzen/fabrikplanung-und-produktionsmanagement/montageplanung/modulare-matrixmontage.html

Susann Kärcher ist Leiterin der Gruppe Montageplanung und datengetriebene Montageoptimierung am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart. *Foto: IPA*

Bild 1. Mit dem Geschäftsmodell „Pay per Part“ bietet der Werkzeugmaschinenbauer Trumpf seinen Kunden die reine Maschinennutzung seiner Laservollautomaten der Serie „TruLaser Center 7030“ an. Dabei steht die Anlage in der Fertigung des Kunden, aber sie wird aus der Ferne vom Hersteller überwacht und gesteuert. Der Kunde bezahlt am Ende für die gefertigten Teile einen vorab garantierten Preis. *Foto: Trumpf SE + Co. KG*

Equipment-as-a-Service steigert die Wettbewerbsfähigkeit

Mit Big Data zu neuen Geschäftsmodellen

In der Industrie sind frische Ideen für den entscheidenden Vorsprung im internationalen Wettbewerb gefragt. „Nutzen statt besitzen“ und vorausschauende Wartung machen die Produktion effizient, nachhaltig und stärken die Lieferketten

TEXT: *Daniel Schauber*

Die intelligente Nutzung von Produktionsdaten beispielsweise macht Maschinen effizienter und ermöglicht völlig neue datenbasierte Geschäftsmodelle. Solche Innovationen werden auf der EMO Hannover 2023 zu sehen sein. Unter dem neuen Claim „Innovate Manufacturing“ lädt der VDW (Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V.) vom 18. bis zum 23. September 2023 Fachleute aus der ganzen Welt zur Weltleitmesse der Produktionstechnologie.

Wie mit den riesigen Datenmengen umgehen?

Daten sind „das neue Öl“. Und eine solche Ölquelle liegt, bildlich gesprochen, in jeder Fabrik. In allen Produktionsprozessen fallen riesige Mengen von Daten

an. Dieser Datenschatz ist ein wertvoller Rohstoff, den die Industrie, um im Bild zu bleiben, raffinieren und gewinnbringend verwerten kann. So lässt sich mit Erkenntnissen, die aus „Big Data“ gewonnen werden, die Fertigung effizienter, robuster und nachhaltiger gestalten. Außerdem sind völlig neue digitale Geschäftsmodelle möglich, wenn Produktionsdaten systematisch erhoben, professionell verarbeitet und intelligent genutzt werden. Zum Beispiel ist es möglich, Maschinen nutzungsabhängig zu bezahlen, gemessen an der Leistung, die sie in einem bestimmten Zeitraum erbringen.

Damit kann die Produktionstechnik den Wandel zu Abo-Geschäftsmodellen vollziehen: weg vom reinen Maschinenkauf und hin zu zeitlich befristeter sowie flexibler Nutzung, **Bild 1**. Ob die Maschine besser dem Betreiber oder dem Hersteller gehören soll, ist letztlich eine nüchterne Kosten-Nutzen-Abwägung.

Nutzen statt besitzen

Datenbasierte Geschäftsmodelle können dabei helfen, der Konkurrenz den entscheidenden Schritt voraus zu sein. „Für deutsche Produktionstechnikhersteller bieten sich vor allem Geschäftsmodelle in Form von Everything-as-a-Service, kurz XaaS, an. Dies sind subskriptionsbasierte Wertversprechen, die industrielle Dienstleistungen mit physischen und digitalen Elementen zu kundenorientierten Lösungen kombinieren“, erklärt Prof. Dr.-Ing. *Thomas Bauernhansl*, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart sowie des Instituts für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart, **Bild 2**. „Durch die zunehmende Datentransparenz steigt das Kundenverständnis.“

Maßgeschneiderte Lösungen über den gesamten Wertschöpfungsprozess könnten angeboten werden, und neue Bezahlmodelle (zum Beispiel „Pay per Part“ oder „Pay per Productivity“) sowie die damit einhergehende Verschiebung von Verantwortungsübergängen stärken die Kundenbindung. Durch Cross- und Up-Selling, so *Bauernhansl*, sei durch diese Art von Geschäftsmodellen auch in gesättigten Märkten Wachstum möglich. „Die neuen Wertangebote schaffen Differenzierung im globalen Wettbewerb.“

Der Werkzeugmaschinenhersteller DMG Mori aus Bielefeld hat diese Erkenntnis umgesetzt und liefert im Rahmen seines Angebots „Payzr“ Anlagen, die der Kunde nutzungsabhängig bezahlen kann. Das Akronym Payzr steht für „Pay with zero risk“. Der Kerngedanke des Abo-Geschäftsmodells ist es, Kunden genau das zu geben, was sie benötigen, und dann, wann sie es brauchen.

Im Detail kann Equipment-as-a-Service so aussehen: Der Kunde bestellt, konfiguriert seine Maschinen im Online-Store des Herstellers und erhält die Anlage dann gegen Zahlung einer monatlichen Grundgebühr. Diese kann je nach Konfiguration und Vertragslaufzeit – etwa 12, 24 oder 36 Monate – unterschiedlich ausfallen. Mit der Pauschale sind Wartungen, Service und Versicherungen abgedeckt. Zur Grundgebühr kommen Kosten für die Maschinennutzung hinzu, die der Hersteller über die geleisteten Arbeitsstunden ermittelt. Vorteile für den Kunden sind erhöhte Planungssicherheit durch Preis- und Kostentransparenz sowie die Vermeidung langfristiger Investitionsausgaben, sodass Innovationszyklen beschleunigt werden können.

Auch der Werkzeugmaschinen- und Lasertechnikhersteller Trumpf aus Ditzingen setzt auf datenbasierte Innovationen. Das Hightech-Unternehmen hat ein digitales Geschäftsmodell namens „Pay Per Part“ geschaffen. Wie das im Detail funktioniert, erklärt Produktmanager *Maximilian Rolle*: „Dabei bieten wir unseren Kunden die reine Maschinennutzung der Laser-Vollautomaten der Serie ‚TruLaser Center 7030‘ an. Dabei steht die Anlage in der Fertigung des Kunden, aber das Trumpf-Remote-Control-Center in Neukirch überwacht und steuert sie aus der Ferne.“ Auch bei der Programmierung und Einrichtung der Maschine unterstützen die Expertinnen und Experten: „Der Kunde bezahlt am Ende für die gefertigten Teile einen vorab garantierten Preis.“

Dieses Geschäftsmodell habe den Vorteil, dass der Kunde die Maschine im Dreischicht-Betrieb laufen lassen könne, ohne zusätzliches Personal einzustellen. „Kommt es zu einer Störung oder einem Stillstand, schreiten wir sofort ein. Das steigert die Maschinenauslastung und erhöht die Produktivität“, verspricht *Rolle*. Zudem seien die Experten von Trumpf in der Lage, das Maximum aus den Maschinen herauszuholen.

Die industrielle Fertigung gilt als eher konservativ und neue Ideen setzen sich nur langsam durch. Das räumt auch *Rolle*

MARPOSS
ULTRA PROBING
SYSTEM

WE HAVE RAISED
THE BAR
OF QUALITY

VISIT US
HALL 6 | STAND B52

MARPOSS

Bild 2. Prof. Dr.-Ing. *Thomas Bauernhansl* sieht in datenbasierten Geschäftsmodellen die Chance, im internationalen Vergleich einen Wettbewerbsvorsprung zu halten. *Foto: Fraunhofer IPA*

ein: „Bei digitalen Geschäftsmodellen sind viele Kunden erst einmal zurückhaltend." Man beobachte aber, dass Dienstleistungen, die den Kunden helfen, die Effizienz und Produktivität zu erhöhen, sehr gut ankommen. „Auch Pay per Part stößt auf immer mehr Interesse. Wir gehen davon aus, dass die Zahl der Anwender weiter steigen wird."

Tiefer Einblick in eigene Produktionsprozesse

Maschinendaten lassen sich auch nutzen, um Fehler in der Produktion schnell zu erkennen. Zu diesem Zweck betreibt die Firma c-Com aus Aalen, eine Tochter der auf Präzisionswerkzeuge spezialisierten Mapal Gruppe, in einer Open-Cloud-Plattform kollaboratives Datenmanagement für Werkzeuge und andere Komponenten im Fertigungsumfeld. Damit sollen Unternehmen tiefgehenden Einblick in ihre Prozesse erhalten und auftretende Probleme schneller lösen.

Werden Produktionsdaten in Echtzeit überwacht, so lassen sich in den Datenströmen Anomalien erkennen. Und wenn die Daten zudem im Kontext des gesamten Produktionsprozesses betrachtet werden, können die Analysen exakte Hinweise geben, welcher Produktionsfaktor – also etwa das Werkzeug, die Maschine oder das Rohmaterial – von der Norm abweichen.

Vorausschauende Wartung, also die Reparatur einer Maschine noch vor dem Auftreten eines Defekts, lässt sich mithilfe von IoT (Internet of Things)-Software wie „MindSphere" von Siemens erreichen. Die Lösung speichert Betriebsdaten und macht sie über digitale Anwendungen zugänglich. Die Software kann man sich grob vereinfacht so vorstellen wie ein Betriebssystem auf dem Computer oder dem Mobiltelefon. Es verarbeitet die Rohdaten, die in den Produktionsmaschinen mit Sensoren erhoben werden. Durch eine Analyse von Mustern in den Daten lässt sich erkennen, ob eine Maschine defekt ist, übermäßig viel Strom verbraucht oder bald gewartet werden muss, weil der Verschleiß eines kritischen Teils schon weit fortgeschritten ist.

DATENGETRIEBENE PRODUKTION AUF DER EMO

Datengetriebene Fertigungsverfahren spielen in der industriellen Produktion eine immer größere Rolle – und sind deshalb auf der EMO Hannover fest verankert. Auf Ausstellerseite präsentieren zahlreiche Unternehmen Maschinen, Systeme und Komponenten, mit denen sich die Fertigung durch intelligente Datenanalyse effizienter und nachhaltiger gestalten lässt und darüber hinaus innovative datenbasierte Geschäftsmodelle umsetzen lassen. Eine ausgezeichnete Plattform bietet hierfür unter anderem der Gemeinschaftsstand „Future of Connectivity Area", der die Vernetzung der Produktionsprozesse in den Mittelpunkt stellt. Weitere Informationen hierzu gibt es unter *https://emo-hannover.de/gemeinschaftsstand.*

Datenschutz im Blick

Digitale Geschäftsmodelle setzen Vertrauen voraus. Denn viele Unternehmen fürchten, die Hoheit über ihre Daten zu verlieren, wenn sie das Betriebsgelände verlassen und in die Cloud hochgeladen werden. Daher sind datenschutzkonforme Lösungen gefragt.

Hier setzt das Projekt „Gaia-X" an: Ein europäisches Konsortium soll die Grundlage schaffen für eine europäische Dateninfrastruktur, über die Unternehmen Daten vertrauensvoll zusammenführen, teilen und nutzen können. Es gibt großen Bedarf: Fast die Hälfte aller Unternehmen ab 20 Beschäftigten (46 %) in Deutschland haben in einer Umfrage des Branchenverbands der deutschen Informations- und Telekommunikationsbranche (Bitkom) angegeben, dass sie an der Nutzung von Diensten der europäischen Cloud- und Dateninfrastruktur interessiert sind. Datenhoheit steht auch im Zentrum des Projekts „Manufacturing-X", das einen geschützten industriellen Datenraum für Produktionstechnikhersteller bieten soll. Ein Konsortium aus SAP und deutschen Maschinenbauern entwickelt daher eine Cloud-Plattform für die Fertigungsbranche, um den Informationsaustausch in einem dezentralen Datenraum mit exakt definierten Zugriffsrechten zu erleichtern. Im Zentrum steht die Idee, mit durchgängiger Datenvernetzung die Lieferketten transparenter und resilienter zu gestalten.

„In Lieferketten schaffen datenbasierte Geschäftsmodelle Transparenz, sodass Störungen frühzeitig erkannt und abgestellt werden können – beispielsweise durch Remote-Service", sagt Fraunhofer-Wissenschaftler *Bauernhansl.* In der Produktion steigerten intelligente Algorithmen die Ressourcenauslastung und reduzierten dadurch Verschwendung. „Mit dem Ziel, zum Beispiel den CO_2-Footprint zu reduzieren, können intelligente Algorithmen unter anderem dafür eingesetzt werden, die Produktionsplanung an die Verfügbarkeit erneuerbarer Energien anzupassen", so *Bauernhansl* weiter.

Das Thema Datensicherheit „ist bei digitalen Geschäftsmodellen enorm wichtig", meint *Rolle,* **Bild 3**. Cloudlösungen

Bild 3. Für *Maximilian Rolle*, Produktmanager bei Trumpf, ist das Thema Datensicherheit bei digitalen Geschäftsmodellen enorm wichtig. *Foto: Trumpf*

bieten heute aus seiner Sicht den bestmöglichen Datenschutz. Trumpf stelle zudem mit einer Datennutzungsvereinbarung sicher, dass der Anwender nur die relevanten und vereinbarten Daten teilt. „Wir schaffen die nötigen Voraussetzungen, damit unsere Kunden selbst entscheiden können, welche Daten sie uns bei der Nutzung digitaler Geschäftsmodelle zur Verfügung stellen“, sagt *Rolle*. Manufacturing-X sei dabei eine mögliche Initiative, um diese Datensouveränität zu erlauben und könne mittelfristig zu einem neuen Industriestandard führen.

Unverzichtbar für die Wettbewerbsfähigkeit

Rund 91 % der deutschen Industrieunternehmen bezeichnen Industrie 4.0 als „unverzichtbar“, um im internationalen Wettbewerb bestehen zu können, wie der IT-Branchenverband Bitkom 2022 ermittelt hat. Vor allem bei der Reduktion von Emissionen gibt es Potenzial, 81 % erwarten einen Beitrag zu einer nachhaltigen Produktion.

Dabei setzt die deutsche Industrie auch darauf, dass sie ihren Wettbewerbsvorsprung im internationalen Vergleich, insbesondere mit Blick auf die USA und Anbieter in Fernost, nutzen kann. „Mit Bezug auf serviceorientierte Geschäftsmodelle haben wir in Deutschland durch tiefes Kundenverständnis, die hohe Engineering-Kompetenz, Kreativität und Problemlösekompetenz immer noch einen Vorteil gegenüber Fernost und den USA“, sagt *Bauernhansl*. Die vielen Hidden Champions in Deutschland mit ihrem stark wachsenden Leistungsangebot an neuartigen Werteversprechen seien der beste Beweis dafür. „Initiativen wie Gaia-X, Catena-X oder neuerdings Manufacturing-X helfen flankierend, den Vorsprung beizubehalten“, so der Wissenschaftler weiter. „Aktuell haben wir noch die Nase vorn, jedoch spüren wir den Atem der internationalen Konkurrenz bereits im Nacken – Umsetzungsgeschwindigkeit und Mut für Neues zählen!“

Daniel Schauber ist freier Fachjournalist aus Mannheim. *Foto: Autor*

Zwischen der ersten Skizze und dem fertigen Bauteil müssen nicht zwingend zahlreiche fehleranfällige Prozessschritte und viel Arbeitszeit liegen.
Foto: Fraunhofer IPA/Rainer Bez

Fehleranfällige Prozessschritte und Arbeitszeit einsparen

Eine Abkürzung zum fertigen Bauteil

Ein Wissenschaftler des Fraunhofer IPA hat einen Weg gefunden, wie sich einige der zahlreichen Prozessschritte von der ersten Skizze bis zum fertigen Bauteil einsparen lassen. CAD-Modell, technische Zeichnung und die Einstellungen an der Maschine entfallen. Alles, was Konstrukteure und Fertiger noch brauchen, sind neun einfache Zeichen.

TEXT: *Hannes Weik*

Zwischen der ersten Skizze und dem fertigen Bauteil liegen stets zahlreiche fehleranfällige Prozessschritte und viel Arbeitszeit: Zunächst wird seitens der Konstruktion ein dreidimensionales CAD-Modell angefertigt. Daraus leitet der Mitarbeitende dann eine zweidimensionale technische Zeichnung ab und ergänzt sie um zusätzliche Angaben: Toleranzen, Passungen, Parallelitäten, die Rauigkeit der Oberfläche und dergleichen mehr. CAD-Modell und technische Zeichnung werden dann dem Fertiger übergeben. Dieser nimmt bei einfachen Bauteilen die entsprechenden Einstellungen direkt an der Maschine vor.

Bei komplexeren Geometrien hingegen empfiehlt es sich, die Daten in eine CAM-Software zu laden, die daraus dann automatisiert Maschinenbefehle generiert. Welche Fräser und Bohrer geeignet sind, um das Rohmaterial zu bearbeiten und wie das Rohteil am besten eingespannt werden muss, muss der Fertiger aber selber entscheiden.

Das optimierte Vorgehen

Tobias Herrmann von der Abteilung Leichtbautechnologien am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA hat nun einen Weg gefunden, wie in Konstruktion und Fertigung einige dieser vielen Prozessschritte eingespart werden können. CAD-Modell und technische Zeichnung werden dabei ersetzt durch eine Nomenklatur aus neun grundlegenden Zeichen, mit denen alles angegeben werden kann, was eine Fräsmaschine umsetzen soll. Diese Zeichen schreibt eine Werkerin oder ein Werker mit einem Stift direkt auf das Rohmaterial, **Bild 1**: R5 steht zum Beispiel für eine Rundung mit einem Radius von fünf Millimetern, F20 für eine 20 Millimeter breite Fase oder E10 für eine Ausfräsung von zehn Millimetern, deren exakte Form und Abmessung anhand von Linien auf dem Rohmaterial vorgegeben sind.

Hinzu kommen neun Konventionen – etwa dass beim Zeichnen von Konturen und Features nur Linien in einem Winkel von 0°, 45° oder 90° zulässig sind, oder dass sich der Werkstücknullpunkt aus

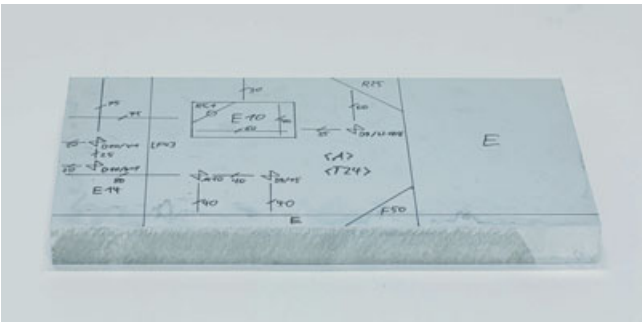


Bild 1. Neun grundlegende Zeichen, die direkt auf das Rohmaterial geschrieben werden, könnten künftig genügen, um einer CNC-Maschine einen Produktionsauftrag zu erteilen. Mithilfe blauer Anreißfarbe (hier nicht im Bild) kann der Laserscanner sie leichter wahrnehmen.
Foto: Fraunhofer IPA/Rainer Bez

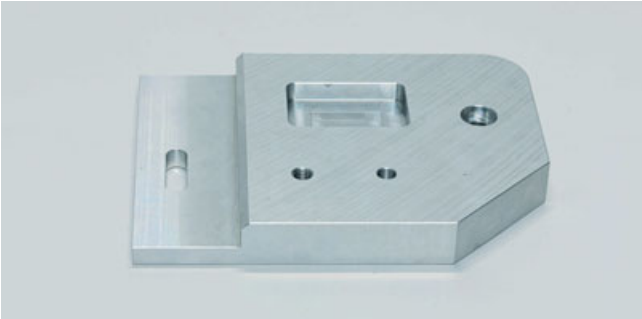


Bild 2. So sieht das fertige Bauteil aus, wenn die CNC-Maschine die Zeichen interpretiert und das Rohmaterial entsprechend bearbeitet hat.
Foto: Fraunhofer IPA/Rainer Bez

Sicht des Maschinenbedieners immer in der linken oberen Ecke befindet.

Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Ist das Rohmaterial beschriftet und eingespannt, wird es von einem Laserscanner abgetastet. Dabei wird zunächst ein Grobscan durchgeführt, um Bauteilposition und Größe zu bestimmen. Anschließend folgt ein Feinscan, bei dem die Markierungen auf dem Bauteil erfasst werden. Gibt es dabei Probleme, etwa durch Verschmutzungen auf dem Bauteil, reinigt die Fräsmaschine das Rohmaterial selbstständig und scannt es dann erneut ab.

Die erkannten Zeichen werden interpretiert und daraus eine Vektorgrafik abgeleitet. Danach übersetzt eine Software binnen weniger Sekunden die Vektorgrafik in Maschinenbefehle (NC-Code) und erstellt ein Soll-Bauteil als CAD-Modell. In den Maschinenbefehlen enthalten sind nicht nur genaue Angaben darüber, an welcher Stelle die Maschine mit welchem Werkzeug was tun soll, sondern die Software sieht auch Werkzeugwechsel vor. Sie schreibt also vor, an welcher Stelle die Maschine andere Fräser oder Bohrer zu verwenden hat.

Ein Mittel gegen den Fachkräftemangel

Ist das Rohmaterial bearbeitet, **Bild 2**, greifen weitere Maßnahmen zur Qualitätssicherung: Zunächst wird das Werkstück automatisch gereinigt, um Staub und Späne zu beseitigen. Danach wird es vom Laserscanner einmal mehr abgetastet und kontrolliert, ob die ermittelte Bauteilformgebung mit dem zuvor berechneten Soll-Bauteil übereinstimmt. Wird dabei festgestellt, dass nicht alle Bearbeitungsschritte ausgeführt wurden, da beispielsweise während der Bearbeitung ein Bohrer gebrochen ist, wird dem Maschinenbediener eine entsprechende Meldung angezeigt. Sobald der Bediener den entsprechenden Bohrer ausgetauscht hat, holt die Fräsmaschine alle Bearbeitungsschritte nach, die sie zuvor nicht korrekt abarbeiten konnte.

Mit diesen Eigenschaften wäre „Easy-CNC“, wie *Tobias Herrmann* seine Entwicklung nennt, nicht nur eine Abkürzung zum fertig bearbeiteten Bauteil, sondern auch ein Mittel gegen den grassierenden Fachkräftemangel. Denn Easy-CNC überträgt das Fachwissen erfahrener Konstrukteure und Fertiger in Softwarebefehle. „Das Know-how zur Bearbeitung ist damit nicht mehr in den Köpfen der Konstrukteure und Fertiger, sondern in der Maschine und Software gespeichert“, sagt der Forscher. „Es könnte also künftig auch ungelerntes oder unerfahrenes Personal an den Maschinen eingesetzt werden.“

Zwischensteuerung für den Zugriff auf Bestandsmaschinen

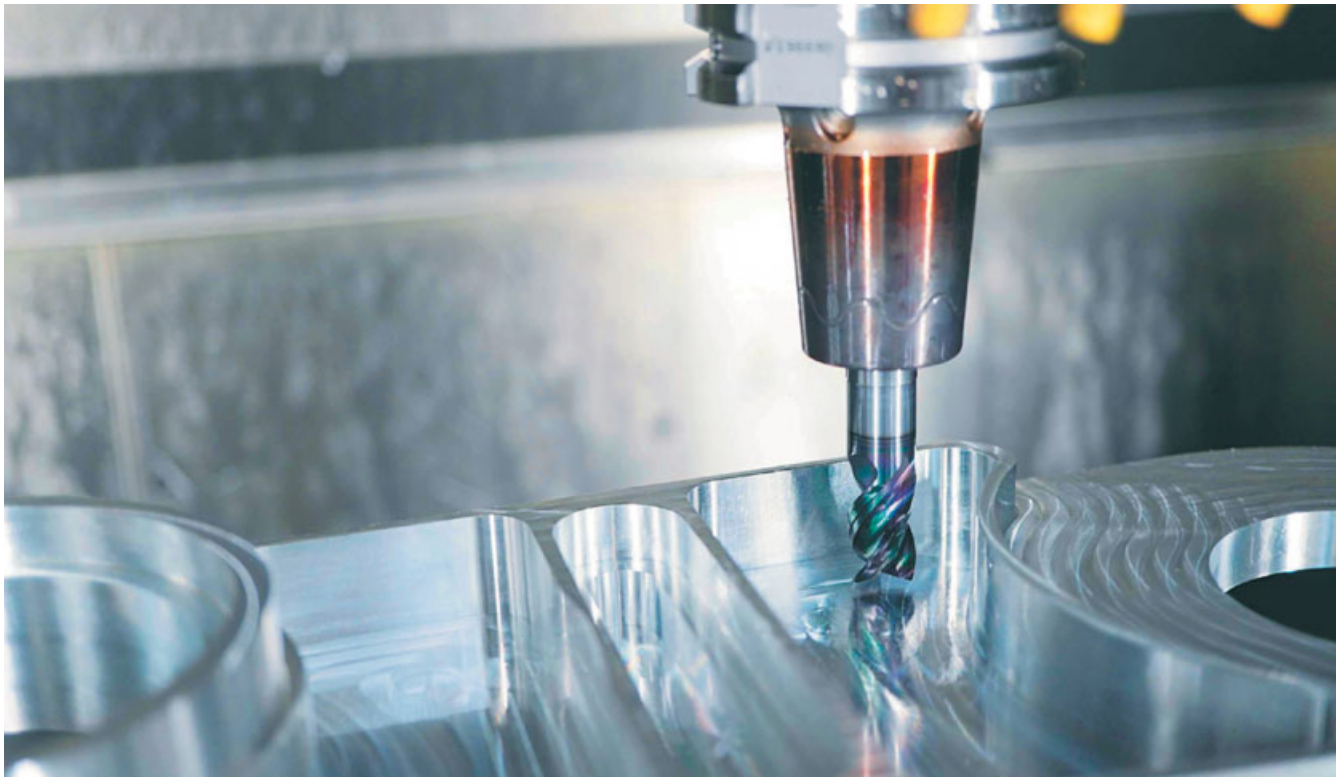
Bis es soweit ist, sind allerdings noch einige offene Fragen zu klären. Allen voran: Wie bekommt man Zugriff auf alte CNC-Maschinen? Denn Bestandsmaschinen sind oft nicht auf die Digitalisierung ausgelegt. Es ist nicht vorgesehen, dass externe Systeme auf diese zugreifen und ihnen Befehle erteilen. *Herrmann* versucht nun, die Maschinenbefehle über eine Zwischensteuerung zu beeinflussen. Darüber könnten CNC-Maschinen dann auch auf Netzwerke und Datenbanken zugreifen. Zusätzlich können damit Anleitungen und Anweisungen an den Maschinenbediener weitergegeben werden. Um dies umzusetzen, sind jedoch noch viele Tests zur Maschinenkommunikation und Systemintegration notwendig.

Unterdessen verfeinern *Herrmanns* Projektpartner bei der EVT Eye Vision Technology GmbH, einem Anbieter von Machine-Vision-Lösungen, ihre Deep-Learning-Algorithmen weiter. Denn die Algorithmen, welche die Linien und Zeichen auf dem Rohteil in Verbindung mit einem von EVT entwickelten Laser-Scanning-System erkennen und klassifizieren, sind essenziell für die weiteren Verarbeitungsschritte.

Die Reuss Maschinenbau GmbH & Co. KG, ein weiterer Projektpartner, entwickelt derweil den Prototyp einer Fräsmaschine, in die das Laser-Scanning-System von EVT zusammen mit Einrichtungen zur Bauteilreinigung und der zusätzlichen Steuerungsanbindung integriert werden soll. Geplanter Projektabschluss ist der 30. September 2023.

Fachlicher Ansprechpartner ist *Tobias Herrmann*, Tel. +49 711 970-1953, E-Mail: *tobias.herrmann@ipa.fraunhofer.de*
www.ipa.fraunhofer.de

Hannes Weik
ist am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart zuständig für Presse- und Online-Kommunikation. *Foto: Autor*



Herausforderung Elektromobilität: Die Aufgabe lautet, Aluminium-Druckgussteile und dünnwandige Alu-Gehäuse für E-Autos mit neuen Werkzeug-Geometrien und Technologien effizient zu bearbeiten. *Foto: OSG*

Technologieforum des VDMA Präzisionswerkzeuge auf der EMO Hannover

Für Jede(n) das perfekte Werkzeug

Präzisionswerkzeuge verschieben ständig die Grenzen des Möglichen zum Nutzen der Kunden – besonders bei den Themen Nachhaltigkeit und Digitalisierung. Wie gut das Forschung und Industrie gelingt, berichten Fachleute auf der EMO Hannover an den drei mittleren Messetagen vom 19. bis zum 21. September 2023.

TEXT: *Nikolaus Fecht*

Manche Herausforderungen „packt man nicht im Alleingang“: Das erkannten auch zwei führende Hersteller der Spanntechnik und gingen in Sachen Nachhaltigkeit eine Technologiepartnerschaft ein. Das Mittel zum Zweck ist Hydrodehnspanntechnik, die sie als nachhaltigste Spannverfahren für in der zerspanenden Industrie etablieren wollen. Wie diese Technik „Ressourceneinsparungen und nennenswerte Kostenreduktionen“ möglich macht, erklären auf dem VDMA-Technologieforum bei der EMO *Matthias Brenner* (Schunk GmbH & Co. KG) und *Dennis Minder* (Mapal Dr. Kress KG).

Wenn die Spannbacke misst und funkt

Die Vorteile des direkten Echtzeit-Messens der Spannkraft während der spanenden Bearbeitung nennt *Thomas Roth* von der Röhm GmbH. Im Mittelpunkt steht die Spannkraftmessung durch die Weltneuheit „iJaw“, laut Firma „die erste Spannbacke überhaupt, die mit Sensorik und kabelloser Datenübertragung ausgestattet ist.

Einfache Bedienung zeichnet die Schrumpftechnik aus, die *Michael Renz* von der Helmut Diebold GmbH & Co. Goldring-Werkzeugfabrik als „Das Smart Konzept“ vorstellt. Für die Lösung spricht, dass auch ungeübte Bediener nur durch Antippen von einem Bedienungs-

knopf prozesssicher Werkzeuge ein- und ausschrumpfen können.

Wie sich die Produktivität enorm steigern und Rüstkosten drastisch senken lassen, erläutern *Stefan Echle* und *Stephan Wangler* von der Haimer GmbH. Vorgestellt werden Schrumpfspannzangen, deren hohe Steifigkeit und Rundlaufgenauigkeit die Standzeit von Werkzeug im Vergleich zu üblichen Systemen mehr als verdoppeln sollen. Außerdem geht es um das modulare Frässystem „Duo-Lock“, dessen Gewindedesign mit Doppelkonus für maximale Stabilität, Belastbarkeit und erhöhte Prozesssicherheit sorgt.

Digitalisierte Werkzeughalter sichern Prozesse ab

Auch bei Haltern steht das Thema Digitalisierung im Fokus. So sorgen zum Beispiel digitalisierte Werkzeughalter für Drehmaschinen für kostenoptimierte, vorbeugende Instandhaltung und Prozesssicherheit, wie *Karl-Heinz Schoppe* von der mimatic GmbH anhand von Praxisbeispielen belegt, **Bild 2**. Ergänzend erklärt *Horst Leidner* von mimatic den neuen internationalen PTI-Standard für Werkzeughalter in Drehmaschinen und seine neue mechanische Schnittstelle, die eine präzisere Bauteilbearbeitung, schnelleres, automatisches Umrüsten und Digitalisierung möglich machen soll.

Als „besten Werkzeughalter aus zwei Welten“ bezeichnet *Michael Schinke*, Bilz Werkzeugfabrik GmbH & Co. KG, das „ThermoGrip TMG“-Schrumpffuttersystem. Es kombiniert die Modularität und Dämpfungseigenschaften eines Spannzangenhalters mit dem perfekten Rundlauf und Bediensicherheit eines Schrumpfspannhalters, dass sich besonders für Hochleistungs- und Hochgeschwindigkeitsfräsen mit Haltekräften von über 700 Nm eignen soll.

Nachhaltiger 3D-Druck

Der 3D-Druck hält auch in der Werkzeug- und Spanntechnik Einzug. So bezeichnet die F+E (Forschungs- und Entwicklungs)-Abteilung der Iscar Germany GmbH die Additive Fertigung als ein geeignetes Verfahren, „um die optimale und nachhaltige Lösung für spezielle und neu entwickelte Produkte wie Wendeschneideplatten zu finden“. Neue Optionen präsentiert Iscar-Referent *Sebastian Oeking* auf dem Technologieforum, wäh-

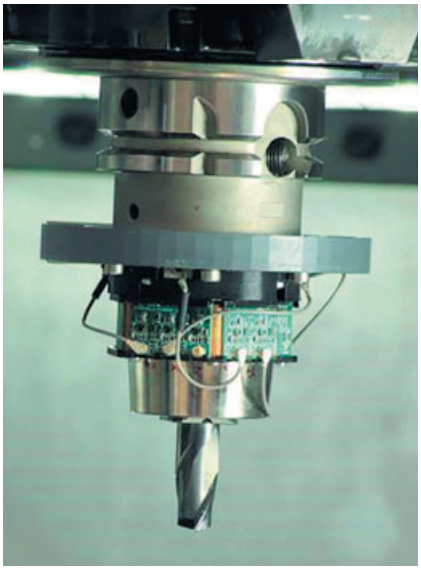


Bild 1. Die In-situ-Überwachung spanender Fertigungsprozesse steht bei der Werkzeug- und spannmittelintegrierten Sensorik im Fokus. Kraft und Temperatur lassen sich in unmittelbarer Nähe des Prozesses messen. *Foto: TU Chemnitz*

Bild 2. Den Drehprozess im „digitalen Griff“: Digitalisierte Werkzeughalter für Drehmaschinen sorgen für kostenoptimierte, vorbeugende Instandhaltung und Prozesssicherheit. *Grafik: mimatic*

TAKE FIVE: FÜNF FORSCHUNGS-INSPIRATIONEN

Nicht nur die Industrie, sondern auch die Forschung beschäftigt sich intensiv mit den Themen Zerspanen und Spannen. Highlights des Technologieforums sind:

1. Spagat zwischen Ökologie und Ökonomie: „Ressourceneffizienz und hohe Prozessleistung müssen keinen Widerspruch darstellen“, betont Prof. Dr.-Ing. *Hans-Christian Möhring* vom Institut für Werkzeugmaschinen (IfW), Universität Stuttgart. Der Wissenschaftler beweist seine These anhand von neuen Technologien für Zerspanprozesse, die gleichzeitig den Energie- und Materialeinsatz verringern und die Produktivität erhöhen.

2. Inspirationen (nicht nur) für Medizintechniker: Moderne Implantate verfügen über geschwungene Flächen und unrunde Querschnitte. Hier kommen die neuartigen Zerspanprozesse Drehwirbelfräsen, Rotationsunrunddrehen und Polygondrehen ins Spiel, die *Tassilo Arndt*, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), vorstellt.

3. Stahlwerkzeug 3D-gedruckt: Unterstützt vom VDMA Präzisionswerkzeuge wurde im AiF-Projekt „AddKoSt“ untersucht, wie sich mit dem 3D-Druckverfahren „Laser-Powder Bed Fusion“ (LPBF) Werkzeug-Grundkörper aus Kohlenstoffstählen herstellen lassen. Für LPBF – auch bekannt als Selective Laser Melting (SLM) – spricht laut Prof. Dr.-Ing. *Martin Reuber* vom beteiligten Institut für Werkzeug- und Fertigungstechnik (iWFT) von der RFH Köln unter anderem, das sich Werkzeugkörper mit optimierter Kühlmittel-Zufuhr sowie angepassten Material- und Struktureigenschaften herstellen lassen.

4. Sensoren an „Bord“: Die Überwachung und Steuerung von Fertigungsprozessen empfehlen *Martin Ettrichrätz* vom Fraunhofer IWU und Dr. *Joachim Regel* sowie *Markus Fuchs* von der TU Chemnitz, **Bild 1**. Sie stellen „Werkzeug- und spannmittelintegrierte Sensorik zur in-situ Überwachung spanender Fertigungsprozesse“ vor. Der Vorteil: Kraft- und Temperaturmessung laufen in unmittelbarer Nähe des Prozesses ab, ohne die Steifigkeit des Werkzeugs wesentlich zu beeinflussen.

5. Hybride PVD-Beschichtung zum Zerspanen von extrem harten Werkstoffen: Wie sich das Beste aus drei Welten kombinieren lässt, berichten *Dr. Florian Welzel* und *Hannes Joost* von der GFE Schmalkalden e.V.. Die Thüringer Wissenschaftler stellen hybride PVD-Schichten vor, die durch gleichzeitige Kombination der Verfahren ARC, Sputtern und PECVD in einer Beschichtungsanlage entstehen. Der Vortrag nennt neu entwickelte Schichten und ihre Anwendungen: zum Beispiel Multikomponent-Schichten zum Bearbeiten des extrem harten Titan-Luftfahrtwerkstoffs Inconel 718.

Bild 3. Themenvielfalt auf dem VDMA-Technologieforum: Während die Firma Andreas Maier mit ihrem flexiblen Roboter-Beladesystem demonstriert, wie sich Werkstücke an Dreh- und Fräsmaschinen automatisiert be- und entladen lassen (links), bezeichnet Iscar Germany den 3D-Druck als optimale und nachhaltige Lösung für spezielle und neu entwickelte Produkte. *Foto: Andreas Maier / Iscar*

rend Dr. *Ole von Seelen*, trinckle 3D GmbH, Software-Tools zum schnellen und intuitiven Erstellen von 3D-Modellen von Vorrichtungen vorstellt. „Mini ganz groß – Innenbearbeitung von Bohrungen“ lautet das Thema von Dr. *Matthias Luik*, Hartmetall Werkzeugfabrik Paul Horn GmbH. Der Fachmann zeigt anhand von stirnseitig verschraubten Schneidplatten des Typs „Mini“, wie sich deren speziell gestalteten Geometrien positiv auf die Innenbearbeitung ab einem Bohrungsdurchmesser von 6 mm auswirken.

Wenn die Drehmaschine hont…

Steigende Oberflächenanforderungen und zunehmend engere Form- und Lagetoleranzen zählen zu den Aufgaben, die Dr. Ing. *Tobias Knipping* von der MAS GmbH beim Honen mit geometrisch bestimmter Schneide beschäftigen. Der Experte berichtet von einem neuen Verfahren, mit dem sich der Honprozess auf einer Drehmaschine abbilden lässt. Eine besondere Herausforderung sind für Zerspanungs-Fachleute jedoch auch Aluminium-Druckgussteile und dünnwandige Gehäuse, die vor allem in Elektro-Autos gefragt sind. Aus der Praxis berichtet *Magnus Hoyer* von OSG, wie sich diese Bauteile mit neuen Werkzeug-Geometrien und Technologien effizient bearbeiten lassen.

Intuitiv Roboter „teachen“

Das Senken von Nebenzeiten steht im Mittelpunkt des Vortrags „SmartAutomation – das flexible Roboter-Beladesystem“ von *Manuel Nau*, Andreas Maier GmbH & Co. KG. Der Referent demonstriert, wie sich Werkstücke an Dreh- und Fräsmaschinen automatisiert be- und entladen lassen, **Bild 3**. Zur Bedienung bedarf es keiner Fachleute, auch Roboter-Laien sollen Aufträge dank intuitiver Bedienbarkeit innerhalb weniger Minuten eingeben können.

Diese Themenvielfalt auf dem VDMA-Technologieforum ist faszinierend und umfangreich. Den roten Faden über den gesamten Prozess liefert *Stefan Nitsche* von der Hainbuch GmbH. Der Hersteller von Spannmitteln sieht sich nämlich als Wegbegleiter für den gesamten Fertigungsablauf, der in Hannover exemplarisch Lösungen vorstellt, die manuelle und automatisierte Fertigungsprozesse optimieren. Das Erfolgsgeheimnis besteht dabei laut *Nitsche* in einer akribischen Analyse der prozesskritischen und oft auch zeitintensiven Schritte in der Zerspanung.

Branche gut aufgestellt

Nach der Erholung der Präzisionswerkzeug (PWZ)-Branche im Jahr 2022 konnten die Hersteller von Pwz im ersten Quartal 2023 an die positive Entwicklung anknüpfen. Insbesondere in den Teilbranchen Zerspanung und Spannzeuge waren die Umsätze bis März nochmals um 9 % bis 10 % höher als im Vorjahreszeitraum. Im Auftragseingang zeigten sich aber erste „Bremsspuren“ – auch wenn die Produktion bei vielen Kunden noch gut ausgelastet läuft, macht sich allerorten die Zurückhaltung bei Neuinvestitionen bemerkbar. „Hier erwarten wir von der EMO positive Impulse, die diese Zurückhaltung auflösen“, so lautet die Meinung von *Markus Heseding*, Geschäftsführer VDMA Präzisionswerkzeuge sowie VDMA Mess- und Prüftechnik, Frankfurt/Main.

www.vdma.org/praezisionswerkzeuge

Nikolaus Fecht ist Fachautor aus Gelsenkirchen. Seit 1990 arbeitet der Diplomingenieur und mehrfache Publizistikpreisträger als freier Journalist, PR-Texter und Buchautor für Leitmedien der Fachpresse, Verbände, Industrie und Institute der Fraunhofer-Gruppe. *Foto: Autor*

Größenvergleich: „smartTOOL", der intelligente Werkzeughalter, beansprucht kaum mehr Bauraum als ein konventionelles Modell und ist ebenso universell einsetzbar sowie einfach integrierbar. *Foto: Fraunhofer IWU*

Prozessüberwachung direkt an der Wirkstelle: für effizientere Zerspanungsprozesse

Smarter Werkzeughalter als Datenlieferant

Daten sind der Schlüssel für kontinuierlich verbesserte und adaptiv geregelte Prozesse. Mit einer schmalen Datenbasis lässt sich das Potential moderner Werkzeugmaschinen kaum ausnutzen. Doch wie lassen sich Daten über den Zerspanungsprozess und den Werkzeugzustand zuverlässig und aufwandsarm erheben?

TEXT: *Hendrik Rentzsch, Alexander Schuster*

Hilfestellung kommt jetzt aus einem Fraunhofer-Projekt: Der gemeinsam vom Fraunhofer IWU und dem Fraunhofer IIS im Rahmen des „Fraunhofer Cluster of Excellence Cognitive Internet Technologies" CCIT entwickelte, intelligente Werkzeughalter „smartTOOL" leistet genau dies, **Bild 1**: dank hochsensitiver In-Line-Messung direkt an der Wirkstelle. Der von den beiden Fraunhofer-Instituten entwickelte „intelligente" Werkzeughalter schafft mit aussagekräftigen Daten die Transparenz, die zur Steigerung von Produktivität, Wirtschaftlichkeit und Flexibilität moderner Fertigungsprozesse erforderlich ist. Dabei ist die Energieversorgung des Werkzeughalters völlig autark, die Datenübertragung funktioniert ebenfalls kabellos.

Umfangreiche Messung direkt am Prozess

Ausgestattet ist das Werkzeughaltersystem smartTOOL mit Sensoren zur

Messung von Schwingungen, Prozesskräften sowie Temperaturen. Diese Daten werden über eine Funkstrecke an eine Auswerteeinheit mit grafischer Benutzeroberfläche übergeben. Spezifische Auswertealgorithmen lassen dann Rückschlüsse auf die Zustände von Prozess und Werkzeug sowie auf das Bearbeitungsergebnis zu. Dabei müssen die Messungen so sensitiv sein, dass sie kleinere, fortschreitende Veränderungen, wie beispielsweise „schleichenden" Werkzeugverschleiß, auftretende Vibrationen oder Aufmaß- und Materialschwankungen des Werkstücks zuverlässig registrieren. Nur ein digitales Überwachungssystem, das in direkter Nähe zum Prozess installiert ist, kann solchen höchsten Anforderungen an die Messsensitivität gerecht werden. Kritische Prozessstörungen, wie Kollisionen, Rattern oder auch Werkzeugbruch, detektiert es ebenso zuverlässig.

Bild 1. smartTOOL überträgt wichtige Prozessdaten kabellos und erfordert keine zusätzliche Stromversorgung. *Foto: Fraunhofer IWU*

Funkübertragung mittels Bluetooth Low Energy

Die drahtlose Datenübertragung befähigt das System sowohl zur Prozessüberwachung in Echtzeit als auch zur Offline-Diagnose. Die erfassten Daten bilden dabei die Grundlage für einen manuellen Eingriff zur Optimierung. Zusätzlich kann das System mit einer Maschinensteuerung im Sinne einer adaptiven Prozessregelung gekoppelt werden. Hierfür werden aussagekräftige Merkmale aus den Sensorsignalen extrahiert und über entsprechende Auswertealgorithmen in Handlungsentscheidungen überführt. Die Auswirkungen dieser Aktionen werden ebenfalls identifiziert und ermöglichen eine selbstständige Anpassung der Prozessparameter.

Autark – uneingeschränkter Fertigungsbetrieb

Die für den permanenten Betrieb des smartTOOLs notwendige elektrische Energie wird durch eine innovative Energy-Harvesting-Lösung bereitgestellt. Diese gänzlich kabellose Technologie wird so erstmalig im Bereich der Prozess- und Werkzeugüberwachung eingesetzt. Eine simple, mit Permanentmagneten ausgestattete Komponente wird dafür an der Spindelnase der Maschine montiert. Durch die Werkzeugrotation wird elektrische Energie zur Versorgung der Sensorik, Signalaufbereitungselektronik und des Funksenders gewonnen. Aufgrund der geringen Baugröße des Magnethalters wird weder der automatische Werkzeugwechsel noch der verfügbare Arbeitsraum eingeschränkt. Die 3D-gedruckte, leicht anpassbare Montagegeometrie reduziert zusätzlich den Nachrüstaufwand auf ein Minimum.

Flexible Einsetzbarkeit an jeglichen Maschinen

Nahezu alle elektronischen Komponenten des Werkzeughalters befinden sich auf einem kompakten, universellen Segment zwischen Spannzeug und Spindelschnittstelle. Daher sind letztere beiden Geometrien auch weitgehend frei wählbar und lassen eine Vielzahl anwendungsspezifischer Kombinationen zu. Da die Hardware vollständig in dieses Standard-Segment integriert ist, besitzt smartTOOL keinerlei Störkonturen. Eine hohe statische und dynamische Steifigkeit ist dank der optimierten Geometrie dennoch gegeben. Daher ist der Einsatz ebenso vielseitig wie bei herkömmlichen Werkzeughaltern möglich.

smartTOOL ist in vielen Zerspanungsprozessen einsetzbar. Die adaptive Prozessregelung könnte beispielsweise für eine NC-Bahnkorrektur zur Kompensation der elastischen Werkzeugabdrängung genutzt werden. Werkstücke lassen sich so noch präziser bearbeiten und im Gegensatz zu einer manuellen Korrektur fallen für die prozessbegleitende Kompensation keine zusätzlichen Arbeitsaufwände an.

Denkbar sind auch Anwendungen der prädiktiven oder gar präskriptiven Instandhaltung: Am Ende der Werkzeugstandzeit könnte ein anstehender Werkzeugwechsel angezeigt oder sogar automatisiert eingeleitet werden. Eine weitere Option ist die adaptive Variation der Achsvorschübe zur Minimierung von ungewollten Prozessschwingungen wie dem Rattern. Hierbei wird der Vorschub im Falle auftretender kritischer Schwingungen schrittweise reduziert, bis das Schwingungsniveau des Prozesses ein günstiges Niveau erreicht. Der Verschleiß an Werkzeug und Maschine wird somit gesenkt und die Qualität der hergestellten Werkstückoberflächen gesichert.

In vielen Prozessen bereits bewährt

smartTOOL hat sich bereits in einer Vielzahl von Fräs- und Bohrprozessen ausgezeichnet. Aber auch für die temporäre Analyse ausfallkritischer Prozesse ist das System sehr nützlich: Es hilft, ein tiefergreifendes Verständnis zu den Ausfallursachen zu erlangen, um diese abstellen zu können. Ein Einsatz zur dauerhaften Überwachung – beispielsweise von Werkzeugverschleiß und Werkzeugschneidenbruch in Serienprozessen – wurde ebenso erfolgreich geprüft.

Die hochfrequent gemessenen, sensitiven Sensordaten sind zudem bestens als Input für moderne KI-Modelle und digitale Zwillinge für das Maschinen- und Prozess-Monitoring geeignet. Durch eine Auswertemethodik auf Basis von tiefen neuronalen Netzen konnte zum Beispiel eine 99,9-%ige Vorhersagegenauigkeit des Werkzeugverschleißgrades erreicht werden. Dies erlaubt dem Anwender eine maximale Ausnutzung der Werkzeugstandzeiten, gleichzeitig kann er die Produktion von Ausschuss vermeiden. Die Werkzeugkosten sinken, während der Hauptzeitanteil steigt, da unnötige Werkzeugwechsel entfallen.

Hilfe bei Inbetriebnahmen

smartTOOL ist nicht nur für kontinuierliche Produktionsprozesse interessant. Es unterstützt auch die Inbetrieb-

Bild 2. Die Entwicklung des smartTOOL geht weiter, die nächste Generation wird „kürzer bauen“ und über eine noch leistungsfähigere Sensorik sowie Signalaufbereitung verfügen. *Foto: Fraunhofer IWU*

nahme und Bewertung neuer Werkzeugmaschinen und Werkzeuge mithilfe von kurzen Testprozessen. Tests ergaben, dass die sensitiven Messdaten diese Arbeitsschritte besser quantifizierbar machten und sich somit einfacher gestalteten. Neben einem Einsatz in der Zerspanung hat sich die Lösung ebenfalls als geeignete Überwachung für kundenspezifische Prozesse in den Bereichen der Umformung und des Fügens erwiesen. Die Entwicklungspartner schätzten dabei durchweg die Störkonturlosigkeit und Energieautarkie in Zusammenspiel mit der hochwertigen Messung von Prozesskräften und -schwingungen.

Derzeit wird im Sinne einer noch einfacheren Anwendbarkeit eine neue Generation des smartTOOLs mit verkürztem Elektroniksegment, breiterem Drehzahlbereich und zusätzlich performanterer Sensorik und Signalaufbereitung entwickelt, **Bild 2**. Damit werden sich in Zukunft noch kürzere Werkzeughalterlängen sowie weitere Einsatzgebiete ergeben.

www.iwu.fraunhofer.de
www.iis.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. **Hendrik Rentzsch** ist Abteilungsleitungsleiter Werkzeugmaschinentechnik am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU. *Foto: Fraunhofer IWU*

Dipl.-Ing. **Alexander Schuster** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IWU mit den Schwerpunkten sensorische und aktorische Systeme für Werkzeugmaschinen sowie KI-basierte Auswertemodelle. *Foto: Fraunhofer IWU*

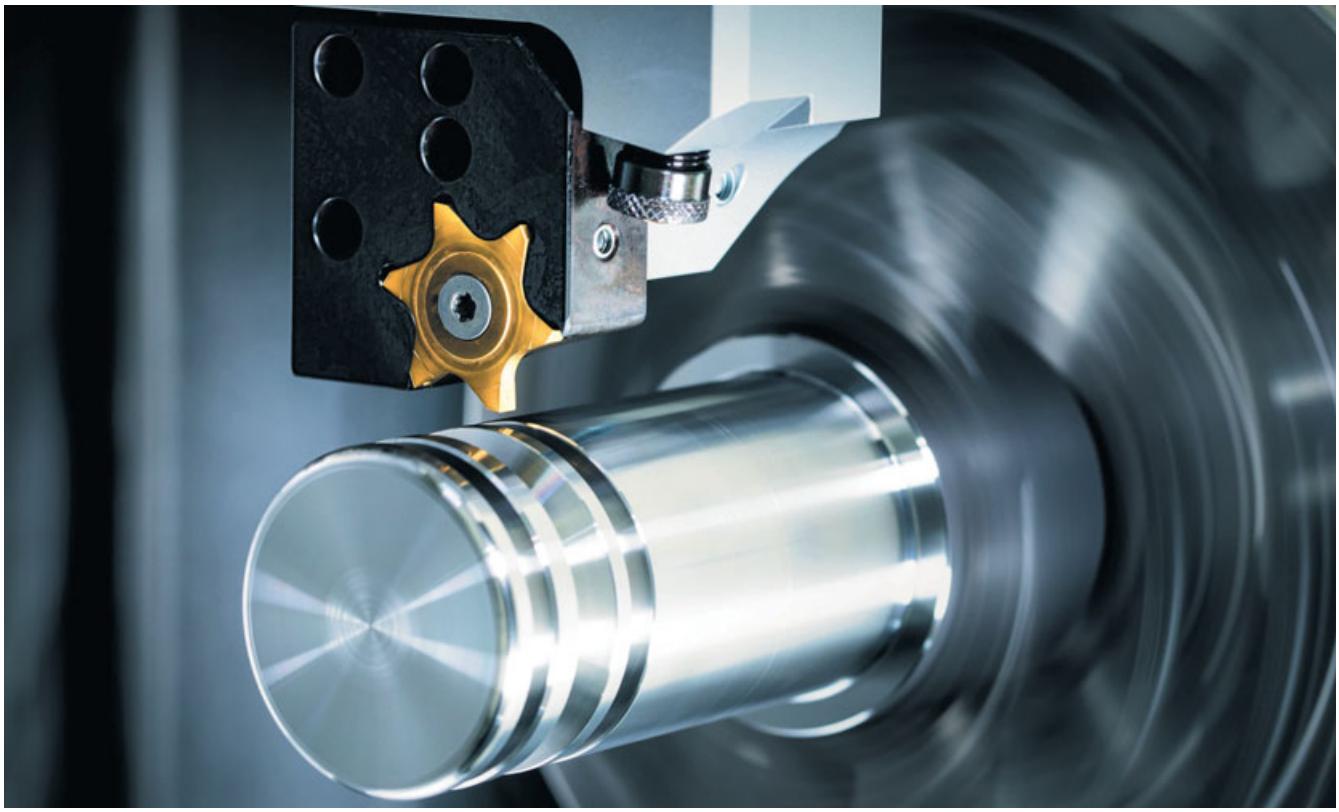
Safer process.
Safer profit.
rhenus

Unser
nachhaltiger Kühlschmierstoff
FOOTPRINT: >85% BIOGENER KOHLENSTOFF

Der Rhenus Lub Benchmark
für nachhaltige Produkte.

Rhenus Lub. Wir schaffen Werte.

EMO HANNOVER
Stand E 86
Halle 6



Für den Prozess „Stechdrehen“ sind zahlreiche Werkzeugsysteme im Portfolio der Tübinger Werkzeugspezialisten: Radial-Einstechen, Abstechen, Axialstechen und Inneneinstechen laufen damit bei einer Präzision im µm-Bereich ab. *Foto: Horn/Sauermann*

Den Prozess der Bearbeitung zwischen Flanken perfekt beherrschen

Stechdrehen mit Wendeschneidplatten

Als im Jahr 1972 die Wendeschneidplatte (WSP) des Typs „312“ auf den Markt kam, war dies im Segment des Stechdrehens eine „kleine Revolution“. Heute ist der Prozess Stechdrehen mit WSP aus der modernen Fertigung nicht mehr wegzudenken.

TEXT: *Nico Sauermann*

Als erster Hersteller überhaupt präsentierte ein Tübinger Werkzeugspezialist in den 1970er Jahren ein dreischneidiges Werkzeugsystem mit stehender Hartmetall-Wendeschneidplatte für das Stechdrehen. Seitdem hat sich ´viel getan: Radial-Einstechen, Abstechen, Axialstechen und Inneneinstechen, alles mit µm-genauer Präzision, gehören inzwischen zum Alltag in der zerspanenden Industrie.

Stillstand ist Rückschritt

Bis heute ist die 312er Platte, die *Paul Horn* der Öffentlichkeit vorgestellt hatte, bei Anwendern beliebt. Basierend auf dem damaligen Ansporn des Firmengründers zur technischen Perfektion seiner Produkte, setzt das Unternehmen bis heute weiterhin Standards in der Werkzeugtechnologie für diesen Bearbeitungsprozess. *Horn* hat dabei niemals aufgehört, auch erfolgreiche Produktfamilien stets weiter zu entwickeln und zu optimieren. Parallel dazu wurde die Wertschöpfung für das gesamte Produktprogramm zu 100 % in die eigene Produktion integriert.

Die Einsatzmöglichkeiten des Werkzeugs sind stark gewachsen, nachdem die Platte ursprünglich fast ausschließlich in der Automobilindustrie eingesetzt worden war. Die 312er ist für die Außenbearbeitung bestimmt und findet den Einsatz unter anderem bei Werkstücken in der Medizintechnik, bei der Herstellung von Hydraulikkomponenten sowie bei Gegenständen des täglichen Lebens wie Schmuck oder Kugelschreibern. Es ist jedoch nicht nur die WSP des Typs 312,

welche den Präzisionswerkzeughersteller als Spezialisten für die Bearbeitung „zwischen den Flanken“ bekannt gemacht hat. Zahlreiche andere Werkzeugsysteme folgten der Idee von 1972, welche heute erfolgreich beim Stechdrehen weltweit im Einsatz sind.

Zum Prozessverständnis

Grundsätzlich spricht man beim Stechdreh-Prozess von einer schmalen Schneide, die in radialer oder axialer Richtung ins Werkstück einsticht. Die Kunst beim Stechdrehen ist unter anderem die Kontrolle des Spanflusses. Klemmende Späne, Spänestau oder lange Wirrspäne gilt es in der Praxis zu vermeiden, da sie die Prozesssicherheit negativ beeinflussen und zum Bruch des Werkzeugs sowie zu verkratzten Flanken führen können. Je nach zu bearbeitendem Werkstoff und Bearbeitungsart entwickelte man bei Horn unterschiedliche Spanformgeometrien, die die prozesssichere Spanverjüngung, Spanlenkung und den Spanbruch sicherstellen.

Ein weiterer wichtiger Punkt für einen wirtschaftlichen Stechdrehprozess ist die ausreichende Versorgung mit Kühlschmierstoff (KSS). Wo früher mit der klassischen Überflutungskühlung von außen gekühlt wurde, sind heute moderne Werkzeugträger, meist mit einer inneren Kühlmittelzufuhr, im Einsatz. Dies stellt die effektive Kühlung der Scherzone zwischen Werkzeugschneide und Werkstück sicher. Für das Abstechen bietet Horn auch eine Schneidplatte des Typs „S100“, welche mit Hochdruck direkt durch die Schneidplatte die Kontaktzone mit KSS versorgt.

Werkzeuge sind beim Stechdrehen hohen Belastungen ausgesetzt. Für einen prozesssicheren und wirtschaftlichen Stechdrehprozess spielen auch die Qualität der eingesetzten Hartmetalle, die der Schneide und die Beschichtung der Schneidplatte eine entscheidende Rolle.

Beispiel aus der Praxis: trochoidal Stechen

Einen breiten und tiefen Einstich bei einem Aerospace-Bauteil fertigt ein Anwender über das trochoidale Stechverfahren. Das trochoidale Stechen, **Bild 1**, eignet sich sehr gut für die Herstellung von tiefen und breiten Einstichen, bei denen ein hohes Spanvolumen generiert werden muss. Das Bauteil fertigen die Zerspaner

Bild 1. Das trochoidale Stechen eignet sich sehr gut für die Herstellung von tiefen und breiten Einstichen. *Foto: Horn/Sauermann*

aus 1.4548 (X5CrNiCuNb17–4–4) – einem Stahl mit hoher Festigkeit und Zähigkeit. Zum Einsatz beim Schruppen kommt hierbei eine Vollradius-Stechplatte „S229“ mit einem Radius von 2 mm.

Der Stechprozess gestaltet sich wie folgt: Der 30 mm breite und 15 mm tiefe (inkrementell) Einstich wird mit der Vollradius-WSP mit einer Schnittgeschwindigkeit von v_c = 140 m/min bei einer Schnitttiefe von a_p = 1 mm trochoidal geschruppt. Der Vorschub ist mit fn = 0,25 mm^{-1} programmiert. Das Schlichtaufmaß liegt bei 0,2 mm. Beim Schlichten kommt ebenfalls eine Schneidplatte des Systems S229 zum Einsatz. Die Schlichtbearbeitung geschieht von zwei Seiten mit einer 3 mm breiten Stechplatte. Der Eckenradius beträgt 0,2 mm. Die Gesamt-Fertigungszeit des Einstiches liegt bei unter zwei Minuten.

Beispiel 2: Axialstechen in der Medizintechnik

Für die Fertigung eines dünnwandigen Ventildeckels aus Titan für ein Hirnwasser-Shuntsystem kommt das System Supermini des Typs „105“ zum Einsatz, **Bild 2**. Zum einen setzt der Kunde ein Werkzeug für die Axialeinstiche und zum

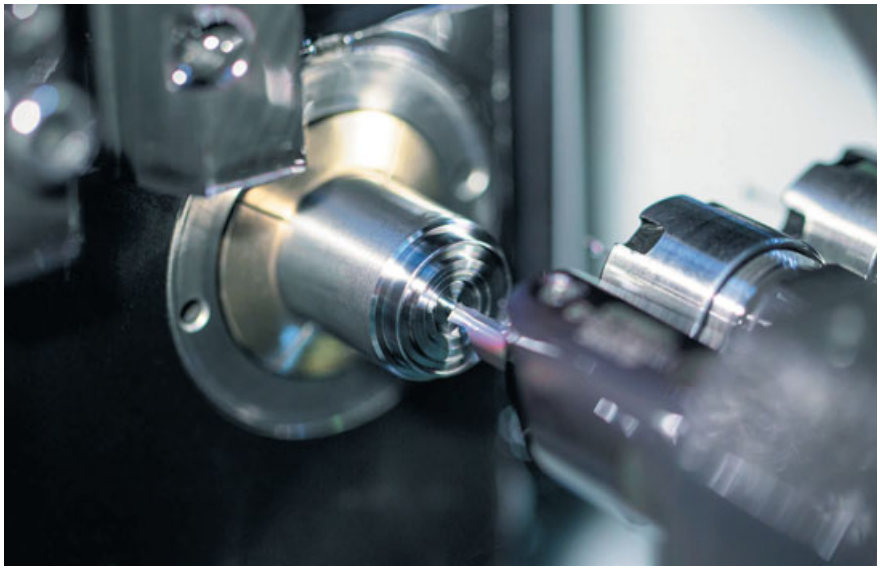


Bild 2. Axialstechen des Medizintechnik-Bauteils mit dem System „Supermini Typ 105“. *Foto: Horn/Sauermann*

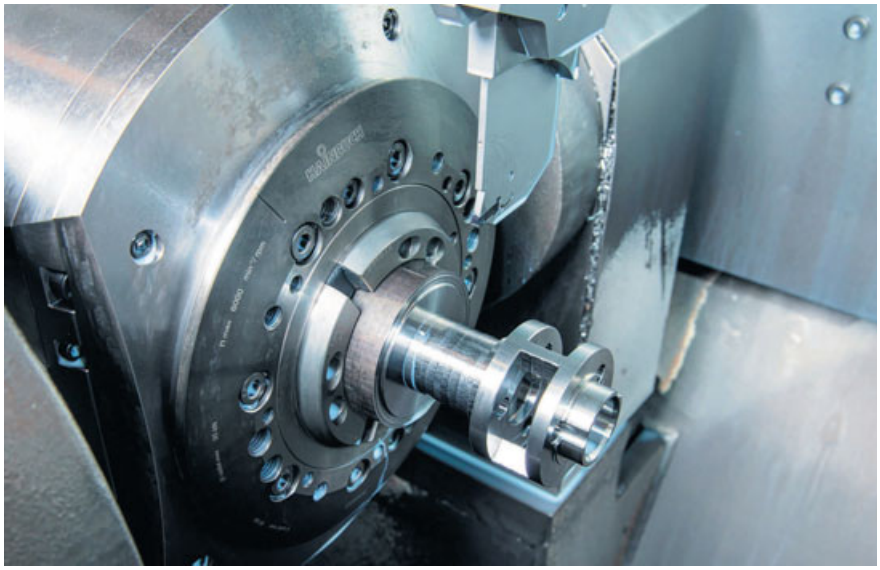


Bild 3. Höhere Vorschübe bei gleicher Stechbreite erlaubt das Horn-Stechsystem zum Einstechen über die Y-Achse. *Foto: Horn/Sauermann*

anderen ein Sonderwerkzeug zum Schlichten der Deckelpassung ein. Für die schmale Passung am Deckel mit einer Länge von 0,5 mm musste das Supermini-Werkzeug mit einem Eckenradius von 0,05 mm ausgelegt werden. Die Schwierigkeit stellt sich bei der Bearbeitung von Titan immer in der Abführung der Wärme sowie bei der Kontrolle der Späne. Für den Einsatz als Implantat hat der Anwender strenge Kriterien an die Oberfläche und an die Gratfreiheit des Bauteils. Durch die Optimierung der Verfahrwege durch ein CAM-System konnten die erfahrenen Kollegen der spanenden Fertigung die Standzeit von ursprünglich 1.000 auf nun 2.000 Bauteile verdoppeln.

Beispiel 3: Neue Stechstrategie

Der Planetenträger ist eines der zentralen Bauteile einer Einbau-Schraubspindel. Diese Spindel kommt unter anderen in der Automobilmontage zum Einsatz. Fünf Schraubspindeln, als Paket montiert, verschrauben beispielsweise gleichzeitig alle fünf Radschrauben bei der Rädermontage. Zum Stechen eines 50 mm breiten Einstichs kommt das neue Werkzeugsystem zum Stechen mit der Y-Achse zum Einsatz, **Bild 3**. Den Einstich schruppte der Anwender vorher mit dem System S229 – und war mit der Leistung zufrieden. Dieses System hat immer die geforderte Leistung für diese Bearbeitung gebracht, aber das Stechen über die Y-Achse „machte neugierig“. Zusammen mit dem zuständigen technischen Berater von Horn wurde das neue Stechverfahren in den Bearbeitungsprozess implementiert.

Der Wechsel der Stechstrategie brachte einen Zeitvorteil von über einer Minute. Das resultiert aus der Möglichkeit, mit dem Stechsystem den doppelten Vorschub zu fahren. Darüber hinaus stieg auch die Standzeit des Werkzeugs und die Spankontrolle, da der Span direkt nach unten abgeleitet wird.

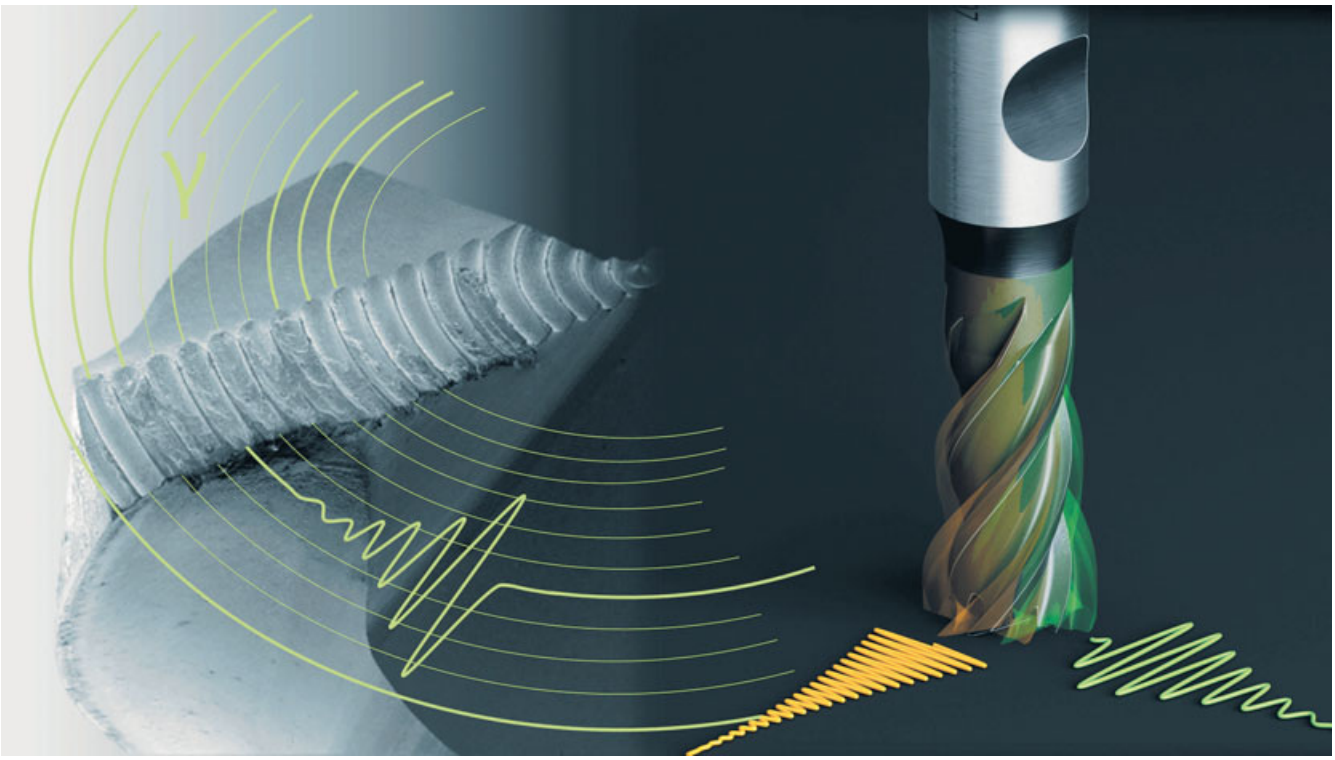
Gestochen wird nun mit einer Schnittgeschwindigkeit von $v_c = 130$ m/min bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 0,3 mm/U. Das Stechen ist eine reine Schrupp-Operation. Der Abstich geschieht am Durchmesser des Einstiches. Geschlichtet wird der Einstich auf der Gegenspindel mit einer ISO DCMT-Schneidplatte. Auf der Gegenspindel wird wegen des Materialverzugs nicht geschruppt. Des Weiteren arbeitet der Kunde mit einer glatten Spannzange, welche das Schruppen ebenso erschweren würde.

Fazit

Obwohl sich das Werkzeugportfolio von Horn deutlich erweitert hat – nicht nur im Bereich Stechdrehen, sondern für alle Anwendungen im Feld der anspruchsvollen Zerspanaufgaben – gilt das Stechdrehen und somit die Bearbeitung zwischen zwei Flanken weiterhin als „Königsdisziplin“.

www.horn-group.com

Nico Sauermann arbeitet in der Öffentlichkeitsarbeit bei der Hartmetall-Werkzeugfabrik Paul Horn GmbH in Tübingen.



Verhältnismäßig einfache Modifikationen an Fräswerkzeugen können die Produktivität im Einsatzversuch um bis zu 85 % gegenüber nicht-modifizierten, konventionellen Werkzeugen steigern. *Grafik: ISF*

Strukturierte Funktionsflächen + asymmetrische dynamische Eigenschaften kombiniert

Stabile Prozesse durch Fräswerkzeug-Modifikation

Oftmals unterliegt der Zerspanungsprozess dynamischen Störeinflüssen. Diesen kann jedoch entgegengewirkt werden: Gezielte werkzeugseitige Modifikationen bringen hier den Durchbruch. Stirnseitig angebrachte Oberflächenstrukturen oder richtungsabhängige dynamische Eigenschaften der Tools unterdrücken die Entstehung von Ratterschwingungen.

TEXT: *Rafael Garcia Carballo, Jonas Baumann, Dirk Biermann*

Durch die genannten Modifikationen lässt sich die Leistungsfähigkeit, zum Beispiel bei der Bearbeitung hochfester Aluminiumwerkstoffe, erhöhen. Insbesondere wenn die Maßnahmen kombiniert werden, bieten diese Stabilisierungsansätze ein großes Potenzial zur Werkzeug- und Prozessoptimierung.

Ausgangssituation

Seit jeher ist die Nachfrage der Industrie und der Verbraucher an die Herstellung technischer Produkte durch steigende Anforderungen geprägt. Diese unterliegen einerseits dynamischen Markteinflüssen und andererseits wettbewerbsgetriebenen Trends, auf welche die Fertigungstechnik in kürzester Zeit mit zielgerichteten Lösungen reagieren muss. Bei der Lösungsfindung spielen drei Zielgrößen eine besonders zentrale Rolle: Prozesssicherheit, Produktivität und Nachhaltigkeit. Die spanende Fertigung spielt bei der Bereitstellung von Fertigungskapazitäten eine besonders wichtige Rolle.

Die Grundlagenforschung am Institut für Spanende Fertigung (ISF) setzt sich heute unter anderem mit den fundamentalen Wirkzusammenhängen in der Zerspanungstechnik und deren Implementierung in eine geometrisch-physikalische Simulationsumgebung auseinander. Das Ziel ist, die Interaktionen und Eigen-

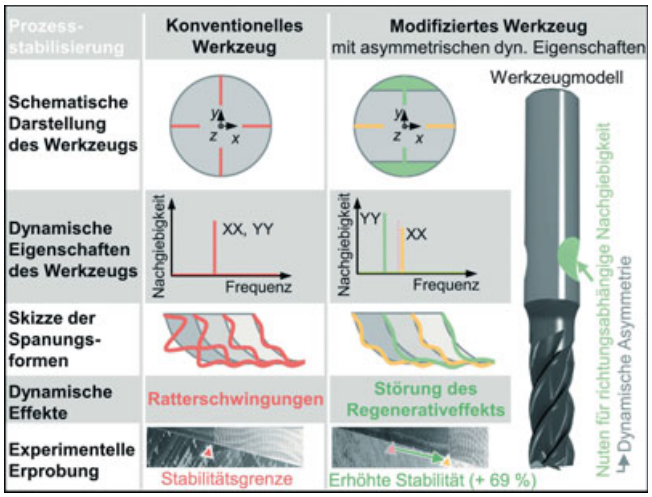


Bild 1. Spanungstiefenmodulation aufgrund einer ungünstigen Prozesskonfiguration als Ursache für selbsterregte Ratterschwingungen und dessen Störung mittels dynamisch-asymmetrischer Werkzeugeigenschaften. *Grafik: ISF*

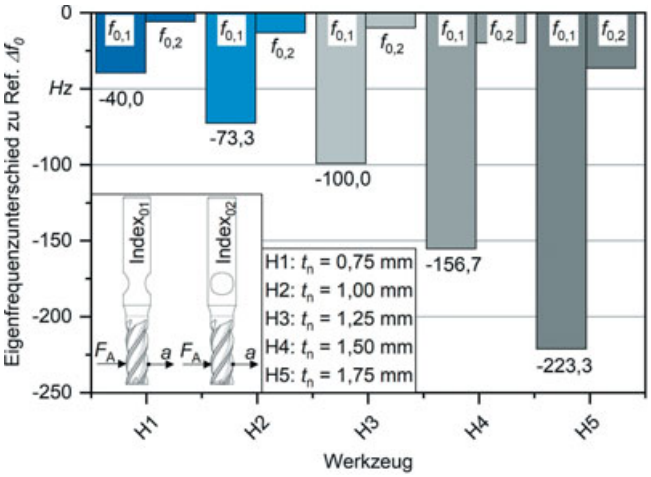


Bild 2. Richtungsabhängigkeit der Eigenfrequenzen aller eingesetzten Hybridwerkzeuge. *Grafik: ISF*

schaften von Werkzeug, Werkstück, Maschine und Prozesskonfiguration im Zerspanungsprozess nachzuvollziehen, aber auch prädiktiv ermitteln zu können [1].

Insbesondere dynamische Einflussgrößen bieten große Chancen zur Prozessoptimierung, da deren Anpassung Auswirkungen auf gleich mehrere Zielgrößen hat. So geht ein dynamisch instabiler Zerspanungsprozess oft mit einer geminderten Bauteiloberflächenqualität, erhöhtem Werkzeugverschleiß und Maßabweichungen einher [2]. Zur Steigerung der dynamischen Prozessstabilität werden verschiedene Ansätze verfolgt. Neben strukturorientierten Ansätzen, welche insbesondere bei der Konzeption der Werkzeugmaschine relevant sind, sind vor allem auch prozessorientierte Ansätze Gegenstand aktueller Forschungsfragen.

Neue Ansätze zur Prozessstabilisierung

Insbesondere zwei (bislang unabhängig voneinander betrachtete) Ansätze zur Prozessstabilisierung liefern nach ersten Untersuchungen vielversprechende Ergebnisse. Beide verfolgen die Strategie, durch konstruktive Modifikationen am Fräswerkzeug die werkzeugseitigen Schwingungen im Fräsprozess zu minimieren. Dazu werden im ersten Ansatz funktionale Oberflächenstrukturen auf den stirnseitigen Freiflächen eines Fräswerkzeugs appliziert, mit dem Ziel, durch Ausnutzen von Deformations- und Reibvorgängen zwischen Werkzeug und Werkstück kinetische Energie zu dissipieren und abstützend zu wirken. Erste Veröffentlichungen belegen eine Steigerung der Stabilitätsgrenze und damit der Produktivität um bis zu 60 % [3].

Beim zweiten Ansatz werden die Änderungen nicht am schneidenden Teil des Werkzeugs, sondern am Werkzeugschaft vorgenommen, **Bild 1**, was eine einfache Integration in bestehende Herstellungsprozesse zulässt. Definiert eingebrachte, kreisbogenförmige Kerben oberhalb des Spannutenauslaufs rufen asymmetrische dynamische Werkzeugeigenschaften hervor, welche selbsterregte Werkzeugschwingungen nachhaltig stören können. Auf diese Weise konnten etwa 70 % größere Schnitttiefen erzielt werden [4].

Neben externen periodischen Störeinflüssen wie Rundlauffehler, Unwucht und fremderregten Schwingungen (z.B. Erschütterungen durch ein benachbartes Presswerk) kann der Zerspanungsprozess auch von „selbsterregten“ Schwingungen gestört werden. Durch den periodischen Zahneingriff und der damit verbundenen Krafteinwirkung erfährt das schwingfähige Fertigungssystem eine Anregung auf die die beteiligten Komponenten, die – je nach Prozesskonfiguration – mehr oder minder empfindlich reagieren. Die impulsartigen Anregungen führen zu Werkzeugauslenkungen, wodurch die Schneide dessen definierten Pfad verlässt und einer veränderten, schwingungsüberlagerte Bahnkurve folgt.

Aus Bild 1 geht hervor, dass diese schwingungsüberlagerte Bahnkurve auch die Schnitttiefe *h* affektiert. Da die Schnittkraft z.B. nach *Kienzle* proportional vom Spanungsquerschnitt abhängt, variiert die Schnittkraft mit fortschreitendem Zahneingriffswinkel periodisch – sie moduliert abhängig von der Eigenfrequenz und regt damit wiederum den Prozess dynamisch an [3]. Es findet eine mechanische Rückkopplung statt, dessen Auftreten in der Literatur als Regenerativeffekt bezeichnet wird.

Kombinierter Ansatz für die Werkzeugmodifikation

Wegen der lokal getrennten konstruktiven Eingriffe beider genannten Ansätze ist auch eine hybride Werkzeugmodifikation möglich, die sowohl funktionale Freiflächenstrukturen als auch asymmetrische dynamische Eigenschaften berücksichtigt. In den am ISF durchgeführten Grundlagenuntersuchungen wurde dieser „hybride“ Werkzeugansatz nun näher erforscht.

Damit die angestrebten Modifikationen mittels Fräsen in die Versuchswerkzeuge eingebracht werden konnten, wurden HSS-Schaftfräser eingesetzt, wobei dem Übertragen des Ansatzes auf Hartmetallwerkzeuge für den industriellen Einsatz nichts im Weg steht. Die Gestalt der Struktur an der Stirnseite der Werkzeuge wurde zunächst nicht variiert, die Tiefe der seitlichen Nuten am Werkzeugschaft hingegen schon. Ziel war es, damit das Nachgiebigkeitsverhalten der Versuchswerkzeuge abgestuft richtungsabhängig zu beeinflussen, **Bild 2**.

Als Versuchsumgebung diente ein experimenteller Aufbau, der die Stabilitätsuntersuchung mit prozessbegleitender Kraft-, Auslenkungs- und Schallemissionsmessung erlaubte. Die fünfachsige Kinematik der Versuchsmaschine (DMG DMU50) gestattete

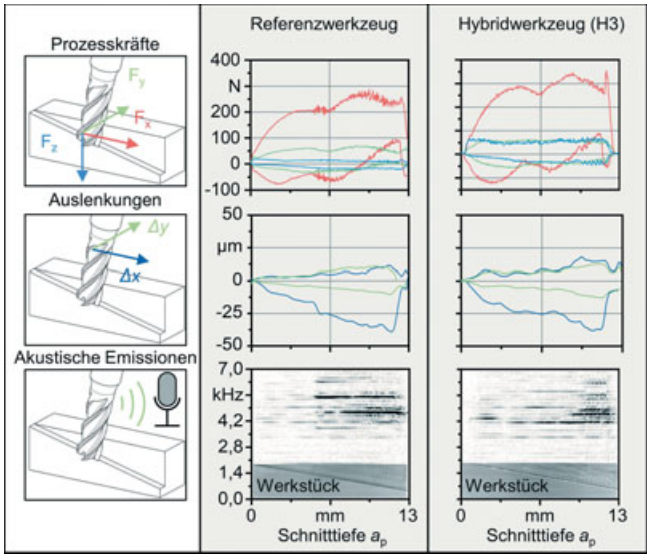


Bild 3. Prozessbegleitende Messungen decken Wechselwirkungen zwischen den beteiligten Komponenten auf und erlauben somit ein tiefgreifendes Prozessverständnis. *Grafik: ISF*

eine Werkzeuganstellung, sodass unter konstanter seitlicher Zustellung a_e eine Rampe in das Werkstück (EN AW-7075) durch konstante Steigerung der axialen Zustellung a_p eingebracht werden konnte. Dank dieser Methodik lassen sich Stabilitätsgrenzen infolge der kontinuierlich ansteigenden Schnitttiefe a_p (und damit einhergehender Prozesslast) durch eine optische Prüfung der Werkstückoberfläche auf Rattermarken bestimmen.

Ergänzend zur optischen Auswertung wurden Prozesskräfte, Werkzeugauslenkungen und akustische Schallemissionen durch im Arbeitsraum installierte Messtechnik aufgezeichnet. Hohe Samplingraten von bis zu 100 kHz ermöglichen detailreiche Einblicke in die physikalischen Wechselwirkungen während des Schnittvorgangs. In **Bild 3** sind exemplarisch Messungen bei Einsatz des Referenzwerkzeugs und des Hybids „H3“ gegenübergestellt. Hinsichtlich der Prozesskraft in X-Richtung (annähernd die Vorschubrichtung) ist eine reduzierte Schwingungsüberlagerung zu erkennen. Auch die Änderung der Prozesscharakteristik bei Übergang zum zum instabilen Bereich ist weniger dominant ausgeprägt. Dies ist mutmaßlich vor allem den dissipativen Plastifizierungsvorgängen zwischen Freiflächenstruktur und Werkstück zuzuschreiben.

Der Auslenkungsverlauf des Hybridwerkzeugs belegt die erhöhte Nachgiebigkeit des Werkzeugs. Während das Referenzwerkzeug die -25µm-Marke erst mit Eintritt in den instabilen Bereich durchbricht, ist dies bei Werkzeug H3 bereits bei einer Schnitttiefe von 3 mm erkennbar. Die im Spektrogramm dargestellten akustischen Emissionsmessungen belegen jedoch, dass bei einer Schnitttiefe von 3 mm keine dominanten Ratterschwingungen auftreten und damit ein stabiler Zustand vorliegt.

Voruntersuchungen zu Werkzeugen mit richtungsabhängigen Nachgiebigkeitseigenschaften zeigten – je nach Nuttiefe am Werkzeugschaft – einen ungleichmäßigen Einfluss auf die maximale Schnitttiefe [4]. Durch Applizieren der Funktionsstruktur zeichnet sich eine gleichmäßigere Verteilung ab, in der Werkzeug H3 mit einem Zuwachs von 85 % gegenüber dem Standardwerkzeug besonders von den Modifikationen profitiert.

Fazit und Ausblick

Gezeigt wurde, dass die Beeinflussung des dynamischen Verhaltens von Fräswerkzeugen – durch das Einbringen von zunächst strukturschwächenden Nuten in den Werkzeugschaft – den Zerspanungsprozess durch Störung des Regenerativ-Effekts positiv beeinflussen kann. Darüber hinaus verhelfen Funktionsstrukturen auf den stirnseitigen Freiflächen eines Schaftfräsers zu weiterer Prozessstabilisierung. Zerspankraftverläufe belegen eine reduzierte Schwingungsüberlagerung des Fräsprozesses. Bei gleichbleibenden Prozessparametern ist ein erheblich reduzierter Werkzeugverschleiß bei höherer Oberflächenqualität zu erwarten.

Im weiteren Verlauf des Forschungsprojekts soll zur prädiktiven Auslegung prozessspezifischer, aber auch universell performanter Werkzeugmodifikationen die Koppelung von Finite-Elemente-basierten Modellen mit einer geometrisch-physikalischen Prozesssimulation entwickelt werden. Insbesondere das Optimierungsproblem der strukturellen Schwächung des Werkzeugs auf der einen und der produktivitätsfördernden Störung des Regenerativ-Effekts auf der anderen Seite stellt eine zentrale Fragestellung in der weiteren Forschung dar.

isf.mb.tu-dortmund.de

Literatur

[1] Altintas, Y.; Kersting, P.; Biermann, D.; Budak, E.; Denkena, B.; Lazoglu, I.: Virtual process systems for part machining operations. CIRP Annals 63 (2014), Nr. 2, S. 585–605.

[2] Yue, C.; Gao, H.; Liu, X.; Liang, S. Y.; Wang, L.: A review of chatter vibration research in milling. Chinese Journal of Aeronautics 32 (2019), Nr. 2, S. 215–242.

[3] Baumann, J.; Krebs, E.; Biermann, D.: Chatter avoidance in milling by using advanced cutting tools with structured functional surfaces. MM Science Journal 2019 (2019), Nr. 04, S. 3019–3026.

[4] Baumann, J.; Wirtz, A.; Siebrecht, T.; Biermann, D.: Disturbance of the Regenerative Effect by Use of Milling Tools Modified with Asymmetric Dynamic Properties. Journal of Manufacturing and Materials Processing 4 (2020), Nr. 3, S. 67.

Die Inhalte wurden gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – Projektnummer 495148486 – Grundlagenuntersuchung zur Vermeidung des Regenerativeffekts in Fräsprozessen durch gezielte Auslegung von Werkzeugen mit asymmetrischen dynamischen Eigenschaften.

Rafael Garcia Carballo, M. Sc., Jahrgang 1992, studierte Maschinenbau an der Technischen Universität (TU) Dortmund und ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Spanende Fertigung (ISF). *Foto: Autor*

Jonas Baumann, M. Sc., Jahrgang 1986, studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der TU Dortmund und leitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am ISF die Abteilung Simulations- und Prozessentwicklung.

Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. **Dirk Biermann**, Jahrgang 1963, leitet das ISF seit 2007.

Digitale Unterstützung: Der „Tool Adviser" erleichtert die Suche nach dem passenden Werkzeug. Auf Grundlage technischer Analysen und Expertenwissen erzeugt dieses System eine Reihe von effizienteren Lösungen mit geeigneten Schnittdaten und gibt dem Nutzer einen direkten Zugriff auf den E-Katalog. *Foto: Iscar*

Systeme zum Drehen, Stechen, Fräsen und Bohren

Die Suche nach dem optimalen Werkzeug

Die zerspanende Industrie erwartet von Werkzeugherstellern immer die beste Lösung für eine bestimmte Aufgabe. Doch wie findet ein Anwender das ideale Werkzeug? Und was macht ein solches überhaupt aus?

Die Kriterien für die Auswahl des optimalen Schneidwerkzeugs hängen von verschiedenen Faktoren ab: der Losgröße, der Art der Fertigung, der Produktpalette, den zu bearbeitenden Werkstoffen, den eingesetzten Maschinen und der Schneidstrategie. Gefragt ist in der Regel die Lösung mit der höchsten Leistung, etwa mit einer auf einen bestimmten Werkstoff optimierten Werkzeuggeometrie oder einer geeigneten Schneidstoffsorte. Die gewählte Kombination ist allerdings werkstoffspezifisch. Das heißt: Ein Werkzeug, mit dem sich Gusseisen effektiv bearbeiten lässt, ist nicht automatisch auch die ideale Lösung für hitzebeständige Superlegierungen. Denn, macht ein lang auskragendes Werkzeug die Bearbeitung einer bestimmten Anwendung erst möglich, beeinträchtigt es in anderen Fällen die Stabilität und wirkt sich negativ auf die Zerspanungsleistung aus. Werkzeughersteller stehen angesichts eines sehr großen Spektrums an Werkstücken mit unterschiedlichen Formen und Abmessungen vor einer ständigen Herausforderung.

Faktoren bei der wirtschaftlichen Fertigung

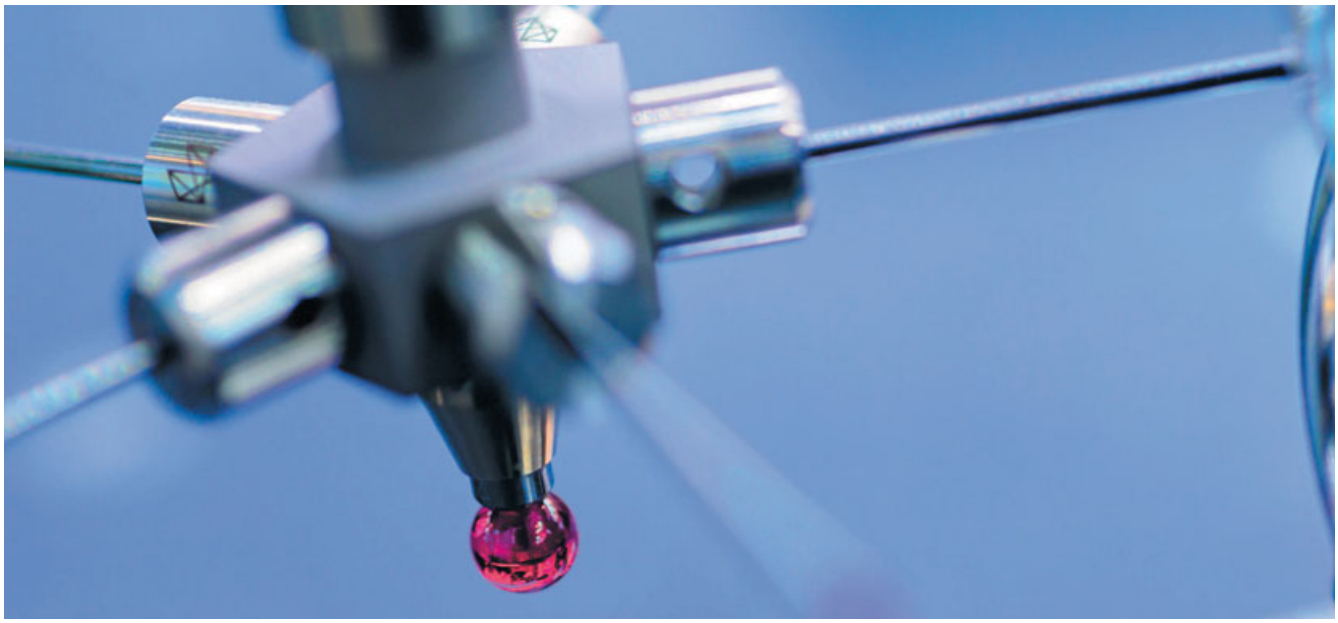
Um rentabel bearbeiten zu können, müssen Anwender unterschiedliche, voneinander abhängige Faktoren berücksichtigen und optimieren. Wichtig sind etwa ein effektiver Maschineneinsatz, eine sachkundige Prozessplanung, die verfügbaren Spannvorrichtungen sowie die Verwaltung des Werkzeugbestands. Ebenso essenziell ist es, das geeignete Werkzeug auszuwählen.

Moderne CNC-Maschinen sind das Herzstück der Fertigung. In der Anschaffung sind sie zwar teuer, verkürzen die Bearbeitungszeit aber deutlich und senken damit die Produktionskosten. Das ideale Zerspanungswerkzeug für eine solche Anlage arbeitet zuverlässig, ist stabil und erlaubt lange Standzeiten. Für eine zuverlässige Zerspanung mit hohem Zeitspanvolumen bei unterschiedlichen Schnittparametern entwickeln Hersteller immer neue, genau auf die unterschiedlichen Werkstückstoffe abgestimmte Schneidengeometrien und Schneidstoffsorten. Um die Produktionskosten zu senken, können Anwender mit dem richtigen Tool, **Bild**, auch die Nebenzeiten deutlich reduzieren. Kurze Rüstzeiten sowie eine hohe und einfache Verfügbarkeit sind hierbei wichtige Faktoren. „Auch in der Metallbearbeitung gilt eben schon immer: Das beste Werkzeug ist das, das gerade zur Hand ist", scherzt *Erich Timons*, CTO bei Iscar in Ettlingen.

Werkzeuge digital anpassen

Werkzeuge müssen stets auf ihren speziellen Einsatzzweck hin ausgelegt werden. Und: Auch an Zerspanungswerkzeugen geht die Digitalisierung nicht vorbei. Auf modernen CNC-Maschinen werden regelmäßig optimierte Bearbeitungsstrategien genutzt. Diese werden im Vorfeld in einer virtuellen Umgebung von computergestützten Konstruktionssystemen geplant, programmiert, geprüft und verifiziert. Deshalb sollte das richtige Tool über eine geeignete virtuelle Komponente verfügen – den digitalen Zwilling. Die breite Palette der neuen Produkte in der „Neologiq"-Kampagne zielt darauf ab, Lösungen an die moderne Zerspanung anzupassen – ergänzt durch innovative Schneidstoffsorten, neue Werkzeug- und Wendeplattengeometrien. Unter den Neuentwicklungen befinden sich Lösungen für Langdrehautomaten und Multitasking-Maschinen. Beim Drehen auf der Y-Achse hilft die Schwerkraft bei der Span-Evakuierung und transportiert lange Späne einfach nach unten ab. Dazu trägt eine neue Produktlinie bei – ein modulares Werkzeugsystem aus unterschiedlichen Werkzeughaltern, Köpfen und Schäften, speziell für das Drehen auf der Y-Achse. Ebenfalls neu (und als modulares Schnellwechselsystem) ist „Neoswiss" ausgeführt. Es besteht aus verschiedenen Köpfen mit WSP zum Drehen, Ab-, Ein- und Gewindestechen auf Langdrehern. Der Kopfwechsel ist selbst im begrenzten Arbeitsraum einer solchen Maschine einfach und schnell möglich.

Bei der Suche nach dem optimalen Werkzeug kann der Anwender zudem auf die Unterstützung von digitalen Tools zurückgreifen. Eine wesentliche funktionale Verbesserung bietet Iscars „digitaler Werkzeugberater" – 3D- und 2D-Werkzeugdarstellungen, Werkzeugbaugruppen, ein erweiterter E-Katalog und zusätzliche Anwendungssoftware bilden hier das „Rückgrat" der virtuellen Umgebung. *www.iscar.de*



Fortschrittliche Koordinatenmesstechnik: Für die Interoperabilität zwischen Messgeräten und Bearbeitungsmaschinen sind standardisierte Kommunikationswege eine Voraussetzung. *Foto: VDMA*

Messtechnik auf dem Weg zur schnellen Interoperabilität

Reibungsloser Datenfluss

Die smarte Fabrik basiert auf Konnektivität, um flexibel und effizient zu produzieren. Standardisierung unterstützt den reibungslosen Fluss der Daten zwischen Messsystemen. Für den Fachverband Mess- und Prüftechnik im VDMA und seine Arbeitsgruppen steht das Thema bei der EMO Hannover im Fokus.

TEXT: *Georg Dlugosch, Jens Slama*

Die smarte Fabrik basiert auf Konnektivität, um flexibel und effizient zu produzieren. Maschinen und Komponenten können dann ungehindert ausgetauscht werden. Die Produktion im Sinne von Industrie 4.0 wird sich jedoch nur entfalten können, wenn der Datenfluss ungehindert und unverfälscht möglich ist. Für Interoperabilität sind standardisierte Kommunikationswege eine Voraussetzung. Hersteller von Messtechnik tragen einen wichtigen Teil in VDMA-Arbeitsgruppen dazu bei, das Funktionieren der smarten Fabrik durch Konnektivität und Interoperabilität vorzubereiten.

Projekte zur Standardisierung werden in drei VDMA-Arbeitskreisen bearbeitet. Ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur Vereinheitlichung der Kommunikation ist jetzt der Arbeitsgruppe „OPC UA Geometrische Messsysteme“ gelungen. Die OPC UA Companion Specification für geometrische Messsysteme (GMS) ist fertiggestellt und verabschiedet worden. Die im VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau) versammelten Unternehmen haben in rekordverdächtiger Zeit die Entwicklung der Schnittstelle vollendet. Und: Die Arbeitsgruppe „OPC UA Cutting Tools“ ist gegründet worden, um den effektiven Austausch von Daten der Werkzeuge zwischen CAD/CAM-System, Werkzeugschleifmaschine und -messmaschine zu ermöglichen.

Die erste Version der herstellerneutralen Schnittstelle „I++ DME“ hat bereits zwei Jahrzehnte im Feld hinter sich und wird nun im Arbeitskreis „I++ DME 2.5“ grundlegend überarbeitet. Die Freigabe der aktuellen Version soll in den nächsten Wochen geschehen.

Geometrische Messsysteme

Mit geometrischen Messsystemen wird im Maschinen- und Anlagenbau sichergestellt, dass Bauteile und Komponenten innerhalb definierter Toleranzen gefertigt werden, **Bild 1**. Während Hersteller geometrischer Messgeräte früher oft auf proprietäre Systeme setzten, auch um Kunden an sich zu binden, widerspricht dieser Ansatz der smarten Fabrik, die effizient mit höchster Flexibilität völlig unterschiedliche Produkte fertigen muss.

In der OPC-UA-Arbeitsgruppe „Geometrische Messsysteme“ beim VDMA reicht das Spektrum der Geräte vom

Bild 1. In der OPC-UA-Arbeitsgruppe beim VDMA sind Use Cases erarbeitet worden, um Grundinformationen zum Gerät bereitzustellen. Und mithilfe der Companion Specification für geometrische Messsysteme soll die Bereitstellung der Messergebnisse vereinheitlicht werden. *Foto: Zeiss*

Bild 2. Bestimmen maßgeblich den Fortschritt in den einzelnen Arbeitsgruppen zum Thema Standardisierung (v.l.): Dr. *Karl-Dietrich Imkamp*, Dr. *Thomas Maresch* und *Bernd Schwennig*. *Foto: Zeiss IQS / Hexagon / Walter*

Messschieber über Form- und Oberflächenmessgeräte bis zu Koordinatenmesssystemen. Fünf Use Cases hat die Arbeitsgruppe für den Einsatz der Systeme im Umfeld von Bearbeitungsmaschinen erstellt, berichtet Dr. *Karl-Dietrich Imkamp*, **Bild 2**, Vorsitzender der Arbeitsgruppe und Leiter der Metrological Qualification bei Zeiss IQS (Industrial Quality Solutions). Die Companion Specification für geometrische Messsysteme ist in Rekordzeit bereits drei Jahre nach Arbeitsbeginn in der ersten Version verabschiedet worden. „Damit ist die selbst gestellte Aufgabe der Arbeitsgruppe erfüllt. Wir warten die Resonanz auf die Veröffentlichung ab, um zu sehen, ob Korrekturen oder Erweiterungen notwendig sind“, ergänzt *Imkamp*.

Ziel: Closed Loop

Zu den Anwendungsbereichen gehören Informationen über den Gerätezustand. Alle Informationen über die Einsatzfähigkeit der Maschine sind relevant. Ebenso wichtig ist die Frage, welche Messprozesse gerade laufen. Zur Unterstützung der immer wichtiger werdenden Automatisierung können auch das Teile- und das Auftragsdatenmanagement eingesetzt werden, aktuell besteht dort jedoch noch Entwicklungsbedarf. Im optimalen Fall dienen die Messergebnisse als Basis für den „Closed Loop“ zur Steuerung einer Bearbeitung.

„Im Unterschied zu anderen Spezifikationen wollen wir keine Steuerung des

Bild 3. Die herstellerneutrale Schnittstelle „I++ DME“ (Inspection Plus Plus Dimensional Measurement Equipment) unterstützt die Interoperabilität bei Herstellungsprozessen. *Foto: Hexagon*

Ablaufs auf dem Messgerät“, sagt *Imkamp*. „Wir informieren darüber, welcher Messvorgang aktuell stattfindet, aber wir geben dem Messsystem keine Befehle zur Bewegung und zur Messpunktaufnahme – das ist nicht Teil der Spezifikation.“ Bedeutung für die Spezifikation haben die Ergebnisse der Messung. „Wir müssen den Zugriff auf die Messresultate vereinheitlichen, aber wir wollen kein neues Format für Messergebnisse entwickeln.“ Zum Inhalt der Spezifikation gehört die Information, dass es Messergebnisse gibt und wo sie im Netzwerk der Produktion hinterlegt sind.

OPC UA wird zur „Weltsprache der Produktion“. Über diese Schnittstelle kann das Gerät seine Grundinformationen zur Verfügung stellen. Darin berichtet es beispielsweise, um welchen Typ es sich handelt oder mit welcher Sensorik es arbeitet. „Ich vermute, dass die Bereitstellung von Informationen dieser Art in den nächsten Jahren zum Allgemeingut wird“, betont *Imkamp*.

KMG: Kombination von Hard- und Software

Der deutliche Wunsch zur Standardisierung bei Koordinatenmessgeräten (KMG) kam aus der Automobilindustrie. Alle Geräte herstellerunabhängig mit einer Nutzeroberfläche bedienen zu können, war die große Hoffnung. Die Anwender sollen sich für die individuell beste Kombination aus Hard- und Software entscheiden können. Treiber der Entwicklung waren Automobilhersteller mit Unterstützung des damaligen Unternehmens Messtechnik Wetzlar, das inzwischen ein Teil von Hexagon geworden ist. Dies führte zu den ersten Versionen der herstellerneutralen Schnittstelle I++ DME (Inspection Plus Plus Dimensional Measurement Equipment).

„Wir haben einige Herausforderungen, wenn wir die Unzulänglichkeiten der aktuellen Spezifikation betrachten“, betont Dr. *Thomas Maresch*, Vorsitzender des VDMA-Arbeitskreises I++ DME und Senior Product Manager System Components bei Hexagon Manufacturing Intelligence. „Wir versuchen, diese im Zuge der Spezifikation 2.5 zu eliminieren.“ Die Schnittstelle ist beispielsweise für große Datenmengen nicht optimal ausgelegt, was dazu führt, dass die Einbindung des Laserscanners nicht aus einem Guss ist. Zudem fehlen Möglichkeiten zur Einbindung von Multisensorik.

Bis zum Herbst soll die Bereinigung von Konflikten durch die Version 2.5 gelingen. „Die Aktualisierung der Schnitt-

stelle wird dazu beitragen, den Einsatz von Messtechnik zu verbreiten und zu verbessern, **Bild 3**“, davon ist *Maresch* überzeugt. Er sieht weitere Ziele: Die Erweiterung für offene Kommunikationsprotokolle wie OPC UA oder MQTT kommt infrage. Sensortechnologie und Bildverarbeitung können auf dem Weg zur Version 3.0 integriert werden.

Bei der Weiterentwicklung spielt der VDMA weiterhin eine bedeutende Rolle. Zunächst ist es erforderlich, dass die unterschiedlichen Hersteller miteinander zum Austausch kommen. Viel diplomatisches Fingerspitzengefühl benötigt die Vermittlung bei den unterschiedlichen Interessen der Hersteller. Schließlich spielt auch das formalisierte Festhalten der erreichten Spezifikation als VDMA-Einheitsblatt eine große Rolle, damit sich die Version am Markt etablieren kann. Vor wenigen Wochen sind bereits Geräte und Systeme präsentiert worden, die I++ DME nutzen werden.

Vernetzte Präzisionswerkzeuge

Die vor einigen Monaten entstandene OPC-UA-Arbeitsgruppe „Cutting Tools“ beschäftigt sich mit dem Austausch von Werkzeugdaten zwischen CAD/CAM-System, Werkzeugschleifmaschine und -messmaschine bei der Herstellung und Bearbeitung von Zerspanungswerkzeugen, **Bild 4**. Auch hier spielt der VDMA eine wichtige Rolle als neutrale Instanz und Plattform für die Hersteller aus unterschiedlichen Branchen des Maschinenbaus. Es wird ein Standard geschaffen, der auf den Spezifikationen für geometrische Messsysteme aufbaut und der für die Belange der Herstellung von Hartmetallwerkzeugen weiterentwickelt wird. „Aus meiner Sicht müssen wir das ‚Kirchturmdenken“ aufgeben“, erklärt *Bernd Schwennig*, Sprecher der OPC-UA-Arbeitsgruppe und Strategic Product Manager Metrology bei Walter Maschinenbau in Tübingen. „Bis vor Kurzem gab es vor allem proprietäre Schnittstellen, wir brauchen jedoch internationale Standards, damit alle eine einheitliche Sprache verwenden.“

Die Grundlage ist bereits mit der offenen Datenschnittstelle „GDX“ (Grinding Data Exchange) zur Konstruktion und Herstellung von Zerspanwerkzeugen geschaffen worden. Erzeugt im CAD/CAM-System, kann die Datei in die Werkzeugschleifmaschine oder Messmaschine im-

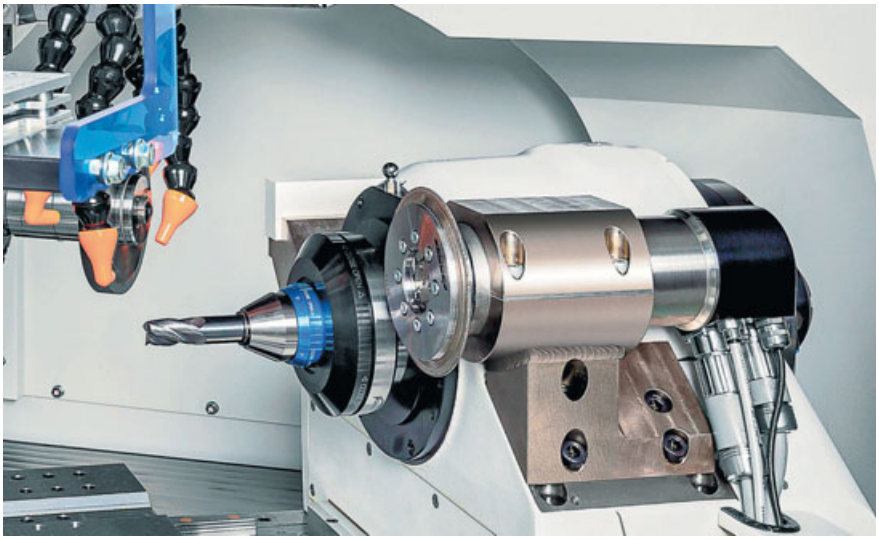


Bild 4. Die Arbeitsgruppe „Cutting Tools“ beschäftigt sich mit dem Austausch von Werkzeugdaten zwischen CAD/CAM-System, Werkzeugschleifmaschine und -messmaschine. *Foto: Walter*

portiert werden, damit das Werkzeug hergestellt, nachgeschliffen, geprüft und dokumentiert wird. Ebenso wird über diesen Datenaustauchweg der Closed-Loop-Prozess möglich. Dieses Format gestattet sehr früh den Datenaustausch zwischen verschiedenen Steuerungssystemen. Die standardisierte Schnittstelle verringert Kosten und optimiert die Abläufe. Allerdings kennt die Schnittstelle nur das veraltete File-Transfer-System und beispielsweise nicht das zeitgemäße OPC-UA-Kommunikationsprotokoll.

Das „Sprachenwirrwarr“ bewältigen

Um die Vielfalt der Sprachen zu überwinden, hat sich die VDMA-Arbeitsgruppe mit Vertretern nahezu aller namhaften Hersteller zusammengefunden. Die Dokumentation entsteht im Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) der Universität Stuttgart. Die Veröffentlichung übernehmen die Verbände VDMA und OPC Foundation. „Derzeit wird das Konzept mit allen Teilnehmern abgestimmt“, sagt *Schwennig*, „wir wollen im ersten Schritt die Kommunikationsstandards aufbauen, und dann soll die Arbeit mit Roundtools beginnen, bevor weitere Werkzeugtypen in Angriff genommen werden.“

Wenn auf die Vorarbeit des GDX-Arbeitskreises zurückgegriffen werden kann, dann lassen sich die einzelnen Arbeitsschritte sehr schnell meistern. *Schwennig* ist hoffnungsvoll: „Die Vorarbeit von über zehn Jahren würde sich dann auszahlen. Es gibt innerhalb von GDX bereits sehr gute Elemente, die weiter Verwendung finden würden. Mit OPC UA veredeln wir den GDX-Standard.“

Messestand bei der EMO

Der Fachverband Mess- und Prüftechnik des VDMA wird als ideeller Träger der EMO Hannover 2023 mit einem Stand (Halle 4, D57) vom 18. bis zum 23. September in Hannover präsent sein und dort an drei Messetagen, vom 19. bis zum 21. September, ein Technologieforum veranstalten. Besucherinnen und Besucher erfahren aktuelle Trends aus erster Hand von Experten für Messtechnik, Präzisionswerkzeuge und Spanntechnik, aus Instituten und von Start-ups.

vdma.org/messtechnik

Georg Dlugosch ist Fachjournalist aus Oberndorf. *Foto: Autor*

Jens Slama ist Referent Kommunikation und wirtschaftliche Themen für Mess- und Prüftechnik im VDMA e.V. in Frankfurt am Main. *Foto: VDMA*

Besser als neu dank optimiertem Reverse-Engineering-Verfahren

Werkzeuge effizient reparieren

Wenn „Scangineering“ und additive Reparaturtechnologien kombiniert werden, lassen sich Werkzeuge oder Bauteile automatisiert reparieren – dies ist ein spannendes Einsatzgebiet für die Reverse-Engineering-Technologie „made by Fraunhofer IPK“.

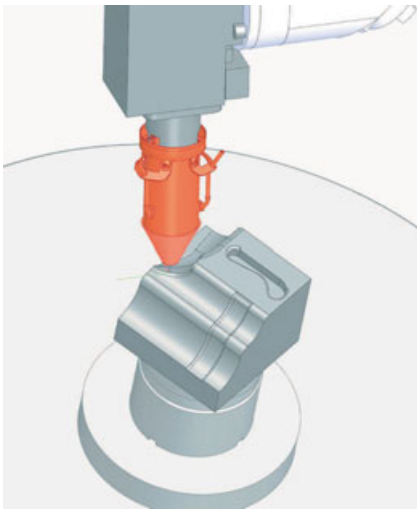
TEXT: *Stephan Mönchinger, Vinzenz Müller*

Wo massive Kräfte walten, gibt auch das härteste Bauteil irgendwann nach. Im Einsatz entwickeln Turbinenschaufeln Risse, Wellen bekommen Dellen und Stanzwerkzeuge verformen an den Kanten. Mit modernen additiven Fertigungsverfahren (AM – Additive Manufacturing) werden solche Schadstellen effizient repariert und das verschlissene Bauteil wieder einsatzbereit gemacht.

Effiziente Instandsetzung

Für Instandsetzungsaufgaben dieser Art hat sich insbesondere „Laser-Powder Directed Energy Deposition“ (LP-DED) als effizientes Verfahren durchgesetzt. Dabei wird mittels Laserstrahl ein Schmelzbad erzeugt, in das eine Düse einen pulverförmigen, meist metallischen Zusatzwerkstoff befördert. Dieser schmilzt im Schmelzbad auf, und durch Bewegungen der Düse oder des Bauteils entstehen Schweißraupen, flächige Beschichtungen und schichtweise komplexere 3D-Strukturen. So lässt sich mit LP-DED durch lokales Aufschweißen ein breites Spektrum an Komponenten reparieren.

Für einfache Geometrien wie Lauf- oder Dichtflächen von Wellen ist das Verfahren etabliert und wird in der Industrie breit eingesetzt. Doch auch für teure Komponenten wie Stanz- oder Formwerkzeuge, die beispielsweise im Automobilbau vorkommen, kann sich die Reparatur von lokalen Schadstellen mittels DED lohnen, **Bild 1**. Allerdings sind hier die Hürden zum effizienten Einsatz des Verfahrens durch komplexe Geometrien und individuelle Schadbilder wie Einkerbungen, Kantenabplatzungen oder -verformungen deutlich höher.



Generierung und Auftragsimulation der Werkzeugwege in der CAM-Software. *Grafik: Fraunhofer IPK*

Die Reparaturprozesskette

Für solche Reparaturaufgaben muss in der Regel eine Prozesskette wie diese durchlaufen werden: 1) Das defekte Bauteil wird inklusive seiner Schadstelle 3D-gescannt. 2) Das Bauteil wird für die Reparatur vorbereitet (etwa durch Schleifen oder Ausfräsen der Schadstelle). 3) Das vorbereitete Bauteil wird erneut 3D-gescannt. 4) Die so erzeugten 3D-Scandaten werden verarbeitet, wobei die fehlerhaften Bereiche erfasst und ein Differenzvolumen generiert wird, das Soll- und Istzustand unterscheidet. 5) Ein additiver LP-DED-Reparatur-Prozess wird in einem CAM-Programm geplant. 6) Der Reparaturprozess wird durchgeführt. 7) Das reparierte Bauteil wird wärmebehandelt und nachbearbeitet.

In dieser Kette stellen vor allem die Schritte 4 und 5 Herausforderungen dar. Aus einem einfachen 3D-Scan lässt sich nicht ohne Weiteres eine Schweißbahn ableiten. Zwar ist das Erfassen und Messen von Geometrien durch Laserscanning oder Fotogrammetrie heute für viele Anwendungen Standard. Aber die dabei entstehenden, großen Datenmengen werden oft nur zu Visualisierungs- oder Messzwecken eingesetzt. Um sie für Reparaturprozesse zu nutzen, müssen die Scandaten verarbeitet, ausgerichtet und in parametrisierte 3D-Modelle umgewandelt werden. Erst damit kann in einem CAM-Programm die Bahnplanung für den Reparaturprozess vorgenommen werden. Dieser Prozess der Umwandlung von 3D-Aufnahmen in CAD-Modelle nennt sich „Reverse Engineering“. Er wird noch zu großen Teilen manuell durchgeführt, was geschultes Fachpersonal und einen hohen Zeitaufwand erfordert. Für hoch individuelle Bauteile ist der Reparaturaufwand daher häufig sehr groß.

Hohe Anforderungen durch die Werkstoffe

Zusätzlich wird der eigentliche Reparaturprozess durch schweiß- und materialtechnische Herausforderungen erschwert. Formwerkzeuge bestehen oft aus Kalt- oder Warmarbeitsstählen mit verhältnismäßig hohen Kohlenstoffgehalten. Der Kohlenstoffgehalt bringt zwar eine gute Härtbarkeit mit sich, reduziert aber auch die Schweißeignung des Materials,

was für Reparaturschweißungen problematisch ist. Das gilt umso mehr, als die reparierten Bereiche den Anforderungen an Beständigkeit und Härte genauso entsprechen müssen, wie es das Ursprungsbauteil als Ganzes getan hat.

Forschende des Fraunhofer-Instituts für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK) greifen diese Herausforderungen mit einer durchgehenden und automatisierbaren Reparaturlösung auf. Dank Scangineering mit automatisierter Bauteilerkennung und geometriebasierter Modellierung sowie modernen AM-Verfahren können defekte Bauteile mit geringem technischem Aufwand wieder einsatzbereit gemacht werden.

3D-Scanning + Reverse Engineering = Scangineering

Das als „Scangineering“ bekannte Reverse-Engineering-Verfahren ist eine Eigenentwicklung des Fraunhofer IPK. Dabei werden mit intelligenten Algorithmen 3D-Scandaten von Bauteilen vorverarbeitet, ausgerichtet und parametrisiert. Das bedeutet, dass aus den Punktwolken etwa eines Laserscans ein geometriebasiertes und damit manipulierbares 3D-Modell erzeugt wird, **Bild 2**, das zum Beispiel in ein CAD-Programm geladen werden kann. In den Umwandlungsprozess können Nutzende an jeder Stelle als „Inputgeber“ und zur Analyse eingreifen. Sie werden aber gleichzeitig von manuellen und repetitiven Schritten entlastet. Mittels Scangineering können komplexe Bauteile, aber auch andere Objekte wie Maschinen oder sogar Gebäude einfach und schnell als virtuelle Modelle nutzbar gemacht werden.

CAM-Planung: Werkzeugwege errechnen

Für die automatisierte Bauteilreparatur werden im nächsten Prozessschritt auf Basis der Modelle die additiven Reparaturprozesse geplant. Die erkannten geometrischen Defekte werden dabei zur Errechnung der Werkzeugwege und Schweißbefehle für den additiven Aufbau verwendet. Die mathematisch bestimmten Volumen, Flächen und Kurven reduzieren den Bedarf an zusätzlich zu erstellenden Hilfsgeometrien und erleichtern und beschleunigen den Programmierprozess: Beschichtungsflächen sind klar definiert und auswählbar, komplette Differenzvolumen können durch schichtweisen Aufbau programmiert oder komplexe Kurven als Stützkurven für die Ausrichtung von Werkzeugwegen genutzt werden. Mittels Aufbausimulation und Überprüfung der Verfahrwege können die Werkzeugwege verifiziert sowie etwaige Kollisionspunkte bereits im Vorfeld erkannt und behoben werden.

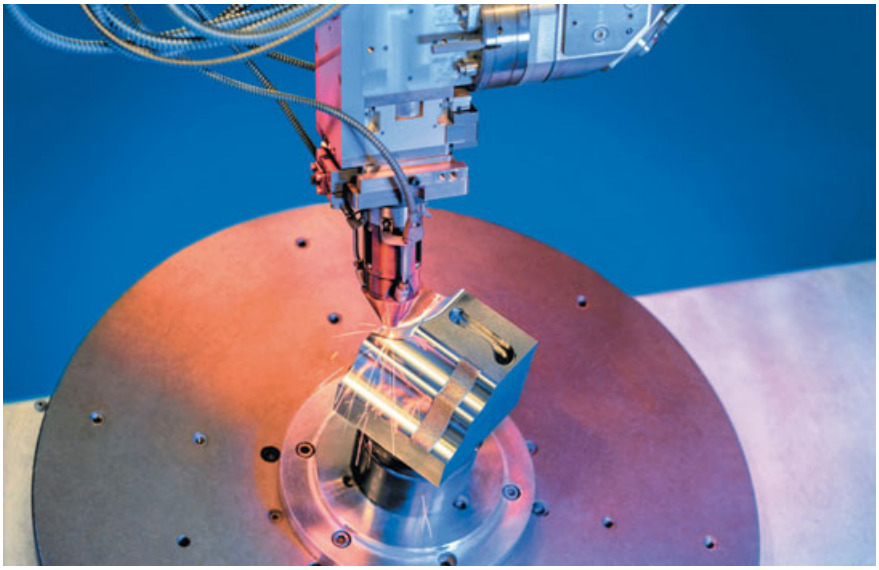


Bild 1. Die Reparaturschweißung am Werkzeug wird mit dem LP-DED (Laser-Powder Directed Energy Deposition)-Verfahren durchgeführt. *Foto: Fraunhofer IPK / Larissa Klassen*

Bild 2. Die „Scangineering“-Software ist ein Tool für die additive Reparaturprozesskette. *Grafik: Fraunhofer IPK*

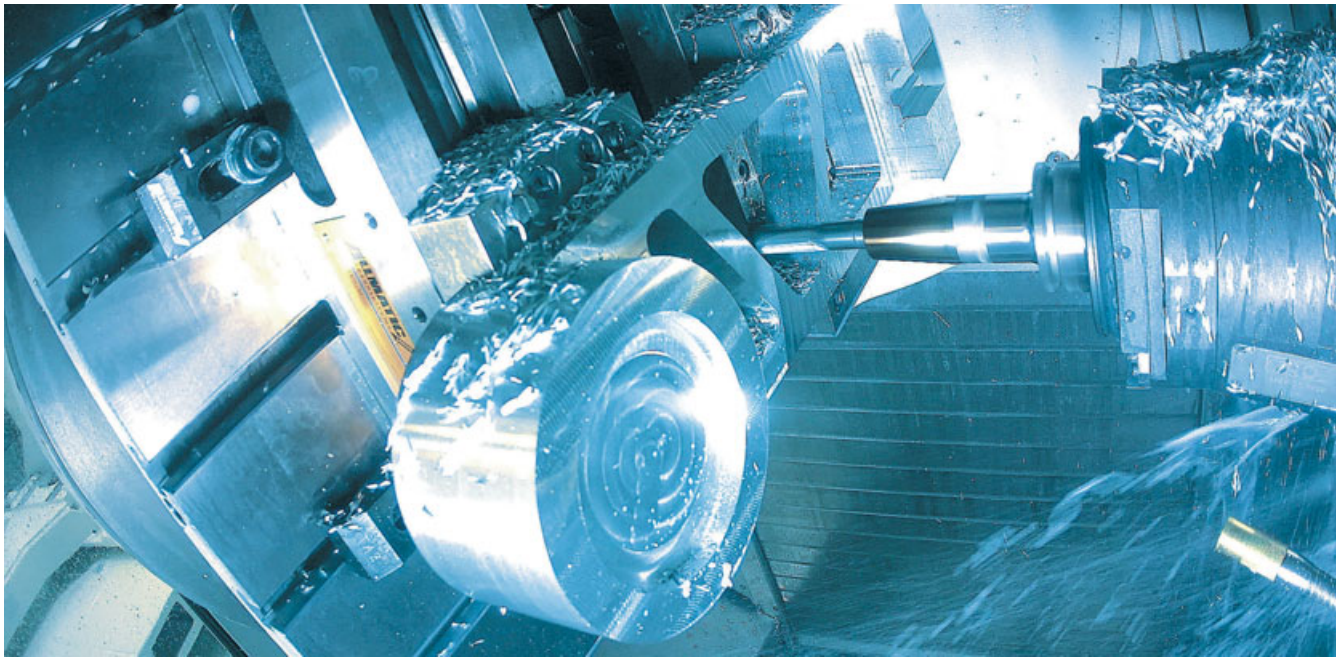
Additiver Reparaturprozess und Nacharbeit

Den letzten Schritt bilden die Auslegung der Prozessparameter und die eigentliche Bauteilreparatur. Hier ist werkstofftechnisches Know-how gefragt, um eine metallurgisch hochwertige und dauerhafte Reparatur zu gewährleisten: Werkstoffspezifische Eigenschaften müssen berücksichtigt werden. Der hohe Kohlenstoffgehalt in Werkzeugstählen etwa begünstigt hohe Härtewerte – diese sind zur Erhöhung der Standzeiten erwünscht. Beim klassischen Reparaturschweißen, etwa mit Lichtbogenverfahren, kann es allerdings durch den hohen Wärmeeintrag in Kombination mit dem Kohlenstoffgehalt sowie weiteren Legierungselementen zu Rissen im Bauteil kommen. Laserbasierte Verfahren wie LP-DED können hier vorteilhaft sein: Die hohe Energiedichte und der dadurch geringe Wärmeeintrag reduzieren die Rissneigung, die Größe der Wärmeeinflusszone, die Beeinflussung des Grundwerkstoffs sowie den Aufmischungsgrad von Grund- und Zusatzwerkstoff. Weiterhin ist die Auswahl des Zusatzwerkstoffs nicht auf die Legierung des Grundwerkstoffs beschränkt.

www.ipk.fraunhofer.de

Stephan Mönchinger ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Intelligente Vernetzung des Geschäftsfelds Füge- und Beschichtungstechnik am Fraunhofer IPK. *Foto: IPK*

Vinzenz Müller ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Geschäftsfeld Füge- und Beschichtungstechnik des Fraunhofer-Instituts für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK in Berlin.



CAD/CAM-Automation für die Fertigung: Die Maschine erhält ein optimiertes, genaues und sicheres NC-Programm. Optimal aufgestellte Prozessautomation und Templates stellen sicher, dass das Potenzial mit hochdynamischen und schnellen Verfahrbewegungen, kurzen Werkzeugen sowie maximal möglichen Vorschub- und minimalen Rückzugsbewegungen voll zur Geltung kommt. *Foto: Tebis*

Wie der automatisierte CAD/CAM-Prozess sieben Stationen produktiver macht

Von der Maschinen- zur Prozessautomation

Fehlende Fachkräfte und eine unsichere Auftragslage zwingen Maschinenbaubetriebe zunehmend, ihre Fertigung flexibler und effizienter zu gestalten. Sie setzen dafür zumeist auf Digitalisierung und Automation – und profitieren von stabilen Prozessen.

TEXT: *Christian Maier*

In den vergangenen Jahren war die Wirtschaft von anhaltenden Krisen geprägt. Das führt selbst den eigentlich starken deutschen Maschinen- und Anlagenbau an seine Grenzen. Doch es gibt auch Auswege: Mittels Prozessautomation lassen sich beispielsweise zusätzliche Einsparpotenziale von bis zu 85 % erzielen.

Mit Automation schneller auf die Maschine

Bislang stand die Maschinenautomatisierung für mehr Produktivität im Fokus. Eine CNC-gesteuerte 5-Achsen-Fräsmaschine zerspant Werkstücke extrem schnell. Dabei kann sie so geschickt eingesetzt werden, dass kaum noch Restmaterial übrig bleibt. Der Maschinenbau ist dadurch schon heute produktiver. Und: Spürbare Erfolge lassen sich entlang der gesamten Fertigungskette erzielen. Denn was oft übersehen wird: Die Maschine ist nur die letzte Station auf dem Entstehungsweg eines Werkstücks. In digitaler Form hat es bereits von der Konstruktion bis in die Maschinenhalle viele Prozessstationen passiert, **Bild 1**. Da alle auf die maschinelle Fertigung hinarbeiten, setzen moderne Automatisierungslösungen bereits am CAD/CAM-Prozess an: Sie können damit ein Effizienzplus von bis zu 80 % erzielen.

Digitale Standards setzen

Der Schlüssel zur effizienteren Fertigung heißt Prozessautomation. Sie baut auf zukunftsfähigen Standards und modernen Digitalisierungsstrategien auf. Statt einzelne Fertigungsinseln, adressieren die Maßnahmen die gesamte Prozesskette eines Maschinenbaus. Das Ergebnis: ein ideal gesteuerter, stabiler CAD/CAM-Prozess. Einmal gesetzte Standards greifen an allen Stationen reibungslos ineinander. Der Fertigungsprozess läuft automatisiert ab, was Fachkräfte enorm entlastet.

Konkret lässt sich das an einem digitalen CAD-Modell eines Werkstücks durch-

spielen, **Bild 2**. Allen Prozessstationen ist eines gemein: Sie arbeiten an und mit dem CAD-Modell. Damit ist es prädestiniert dafür, sich selbst intelligent durch den Prozess zu manövrieren. Ein Praxisbeispiel zeigt das Effizienzpotenzial an allen Stationen – und was ein durchgängiges CAD/CAM-System dazu beiträgt.

Der idealgesteuerte CAD/CAM-Prozess

Station 1 – CAD-Daten aufbereiten

Die Datenaufbereitung beginnt mit dem Einlesen der CAD-Daten ins CAD/CAM-System. Dort sind in CAD-Templates alle Wiederholaufgaben dafür gespeichert. Templates sind beliebig erweiterbar, individuell konfigurierbar und erlauben manuelle Eingriffe. Das einzige, was Anwender tun müssen, ist, das Bauteil zu selektieren und die Bearbeitungsrichtung festzulegen. Die Aufbereitung erledigt das System automatisch und liefert Rohteil, Verlängerungen, Deckflächen, Nullpunkt, Spannsituationen und mehr.

Station 2 – Maschine virtuell rüsten

Parametrisch Aufspannen bedeutet, Rohteil, Fertigteil und Spannmittel sind aus der vorherigen Prozessstation eingeflossen. Über die dort erzeugten Verbindungspunkte wird das Rohteil automatisch positioniert. Bei komplexeren Aufspannungen mit wenig Wiederholungen sichern Plausibilitätsprüfungen das Ergebnis. Das CAD/CAM-System greift automatisch auf Bibliotheken mit Werkzeugen, Spannmitteln, vorkonfigurierten Maschinen und Postprozessoren zu. Es arbeitet also mit exakten digitalen Zwillingen, die sämtliche Komponenten und Parameter enthalten.

Station 3 – Spannsituation virtuell prüfen

Der korrekte Bezugspunkt kann bereits bei der CAM-Programmierung (und nicht erst in der Maschinenhalle) ermittelt werden. Mit den Messpunkten aus der Datenaufbereitung lassen sich die Maße prüfen und die gesamte Aufspannsituation unmittelbar vom NC-Programm steuern.

Station 4 – Werkzeugwege automatisiert erzeugen

Die aufbereiteten CAD-Daten fließen unmittelbar in die automatisierte CAM-Programmierung ein. CAM-Templates erleichtern dem Anwender die Arbeit, indem sie häufig verwendete NC-Sequenzen und Technologien automatisch abarbeiten. Mit einem „Featurescan“ erkennt das CAD/CAM-System etwa sämtliche 2,5 D-Bearbeitungen. Statt in langwieriger Handarbeit, entstehen mit der automatischen Elementselektion entsprechend der Geometrie und vordefinierten Farben etwa passende Bohrungen und Gewinde.

Die Software greift dazu auf Bibliotheken zu, in denen Anwender erprobte Fertigungsabläufe speichern. Nach und nach erhält der Maschinenbauer so sein internes Fertigungswissen standardisiert in digitalen Templates. Die Arbeitsplanvorlage entsteht mit einem Klick, inklusive NC-Programmen und Werkzeugwegen. Ohne Mehraufwand – denn findet

Bild 1. Praxisbeispiel Zeitersparnis: An den Prozessstationen vor der maschinellen Fertigung kann ein Maschinenbau enorm Zeit und Ressourcen sparen. *Grafik: Tebis*

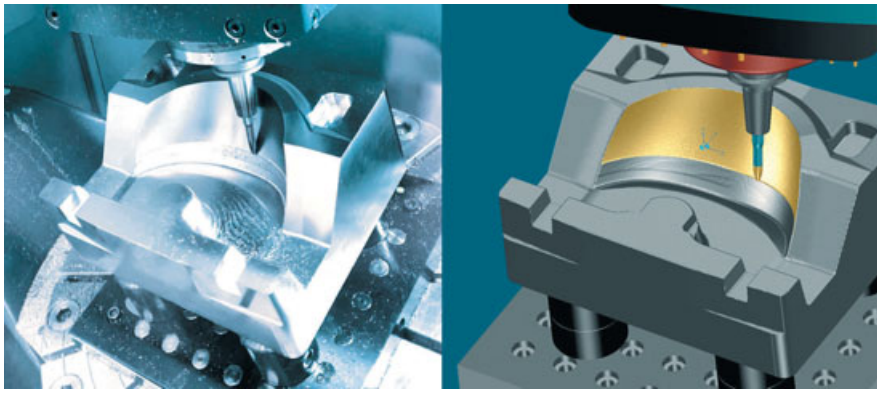


Bild 2. Sicherheit für mannarme Fertigung: Mit der CNC-Simulation plant, programmiert und prüft der Anwender NC-Bearbeitungen automatisiert im CAD/CAM-System. Reale und virtuelle Welt stimmen mit allen Komponenten exakt überein. *Grafik: Tebis*

die Software keine Fräsbereiche zu Anlageflächen, bleibt dieser Job deaktiviert.

Bonus: Während die Berechnung im Hintergrund läuft, bearbeitet der Anwender schon ein anderes Bauteil. Das Ergebnis ist sicher, weil eine integrierte NC-Simulation die NC-Programme auf Kollisionen prüft. Sie verifiziert die Steuerungsinformationen direkt im CAD/CAM-System.

Station 5 – Maschine real rüsten

Geprüfte NC-Programme kommen im Steuerungsformat an die Maschine. Das Ergebnis des virtuellen Rüstens steht dem Maschinenbediener ohne Informationsverlust zur Verfügung. Die digitale Dokumentation liefert eindeutige Angaben:

- die Aufspannlage ist definiert,
- alle Spannmittel und Werkzeuge sind bestimmt,
- Messpunkte sind definiert,
- liegen die Werkzeuge vermessen bereit, ist das Rüsten noch schneller erledigt.

Station 6 – Aufspannsituation real prüfen

Das Einmessen des Werkstücknullpunkts ist vollständig automatisiert. Das NC-Programm übernimmt Prüfaufgaben, die bereits im CAD/CAM-System entstanden sind. Damit werden Anwendungsfehler vermieden und Rüstzeiten minimiert. Auf unpassende Spannsituationen wird flexibel reagiert: Der CAM-Programmierer generiert mit parametrischen Templates schnell – etwa einen Alternativ-Rohling. Das System passt alles weitere automatisch an.

Station 7 – Bauteil fertigen

Nach dem Start läuft ein optimiertes, sicheres und passendes NC-Programm. Die Maschine kann ihr Potenzial mit hochdynamischen und schnellen Verfahrbewegungen, kurzen Werkzeugen sowie maximal möglichen Vorschub- und minimalen Rückzugsbewegungen voll ausnutzen. Überwachung oder Programmierung an der Steuerung sind nicht nötig. Der Maschinenbediener kann sich bedenkenlos weiteren Aufgaben widmen.

Im Anschluss startet eine integrierte Qualitätsprüfung, die direkt aus der NC-Programmierung eingeflossen ist. Die Maschine reagiert selbstständig auf Messergebnisse und führt automatisch eventuelle Korrekturschleifen durch – ressourcenfrei und mit protokollierten Messergebnissen.

Ressourcen sparen senkt Kosten

Dermaßen automatisierte CAD/CAM-Prozesse erzeugen ein hohes Maß an Schnelligkeit, Sicherheit und Genauigkeit – und entlasten gleichzeitig Fachkräfte. Eintönige und wiederkehrende Abläufe sind in Templates ausgelagert, was Fehler vermeidet. Diese Art der Automatisierung erleichtert die Arbeitsteilung: Weniger erfahrene Mitarbeiter erstellen einen Großteil der CAM-Programme – wie 2,5D-Bearbeitungen oder 3-achsige Schrupp-Programme – vollautomatisiert. Erfahrene Anwender kümmern sich um komplexere Arbeiten. Der gezielte Einsatz von Ressourcen verringert die Kosten.

Automatisierung ist notwendig, um sicher „in die Zukunft zu gehen“. Sie stößt aber an Grenzen, wenn Bewegungsabläufe zu komplex und langwierig oder Werkstücke zu individuell sind. Dann bleiben menschliche Fähigkeiten wie Kreativität, Flexibilität und der logische Verstand für schnelle Entscheidungen gefragt.

Skalierbare Umsetzung

Der Maschinenbau fertigt mit automatisierten Maschinen und Techniken bereits effizienter. Aber das drängende Alltagsgeschäft setzt Grenzen, zukunftsfähige Lösungen umzusetzen. Dann empfiehlt sich ein Servicepartner, der die nötige Flexibilität „liefert“ – für bis zu 85 % mehr Effizienz. Die skalierbare Automation „as a managed service“ macht das für KMU finanzierbar. *www.tebis.com/de*

Christian Maier ist „Teamlead Technical Support“ bei der Tebis AG in Martinsried. *Foto: Tebis*

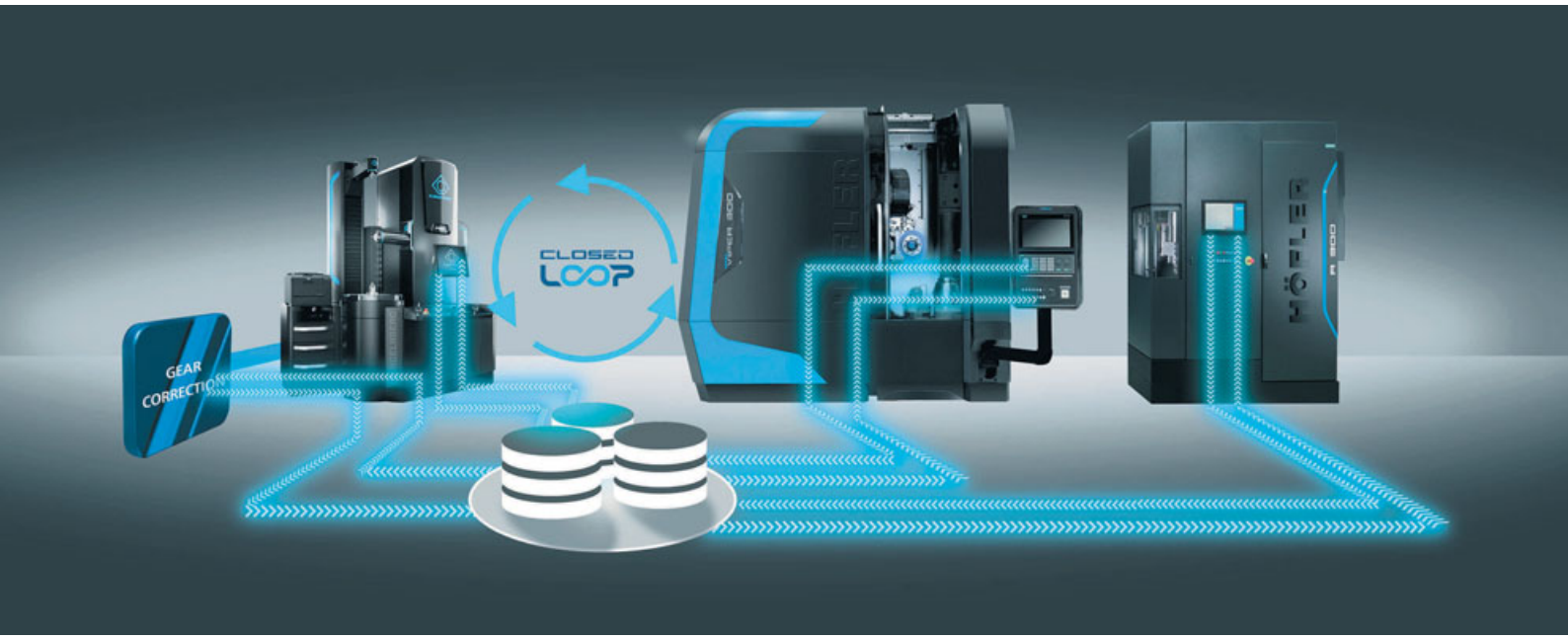


Bild 1. Mithilfe des Closed Loop ist eine engmaschige Überwachung und Korrektur des Fertigungsprozesses möglich – für eine 100-prozentige Prüfung aller geschliffenen Teile. *Grafik: Klingelnberg*

E-Mobilität „elektrisiert" auf der EMO Hannover 2023

Wie bringt Fertigungstechnik die E-Mobilität voran?

Die Fahrzeugindustrie treibt die Elektromobilität konsequent voran. Das bringt auch Auswirkungen für die Fertigungstechnik mit sich. Beispielsweise gilt es, zunehmend mehr Leichtbau- und filigrane Teile zu bearbeiten.

TEXT: *Dag Heidecker*

Wie gelingt die Zerspanung von Batteriekomponenten am wirtschaftlichsten? Welche Herausforderungen sind bei der Zahnrad- und Getriebeherstellung zu bewältigen? Diese und andere Fragen werden Top-Themen auf der EMO Hannover 2023 sein. Einblicke geben Werkzeugmaschinen- und Werkzeughersteller sowie Experten aus der Forschung.

„Leise" Verzahnungen

Verzahnungsgeräusche sind in Getrieben für elektrisch angetriebene Fahrzeuge ein wesentliches Qualitätsmerkmal. Durch den Wegfall des eher lauten Verbrennungsmotors gerät die Geräuschentwicklung der anderen Antriebskomponenten in den Fokus. Klingelnberg aus Hückeswagen hat das Produktionssystem darauf angepasst. Im Fokus steht auf der EMO Hannover das Verzahnungsschleifen ebenso wie die Qualitätssicherung. „Beim Verzahnungsschleifen bekommt der Anwender mit dem ‚Quiet Surface Shifting' (QSS) eine intelligente Abricht- und Schleifstrategie an die Hand, um die regelmäßigen Schleifstrukturen auf der Verzahnungsoberfläche aufzubrechen und damit ein verbessertes Geräuschverhalten zu erzielen", erläutert Dr. *Christof Gorgels,* Vice President Technologie und Innovation bei Klingelnberg. „Die Einflankenwälzprüfung mit allen ihren Ausprägungen gestattet eine einsatznahe Geräuschprüfung der Verzahnungen im Takt der Schleifbearbeitung."

Die Abweichungsanalyse bietet darüber hinaus die Bewertung von Welligkeiten als regelmäßigem Anteil des Formfehlers. Damit werden geräuschkritische Abweichungen auf der Zahnflanke sichtbar und Maßnahmen lassen sich definieren. Die Verbindung aller drei Systeme zum Closed Loop, **Bild 1**, erlaubt eine engmaschige Überwachung und Korrektur des Ferti-

gungsprozesses. Dabei überwacht die Einflankenwälzprüfung den Schleifprozess zu 100 %. „Laute Bauteile werden direkt erkannt, ausgeschleust und der Präzisionsmessung zugeführt. Die Messung macht dann die Abweichungen sichtbar und die Bearbeitungsmaschine kann im Idealfall direkt automatisch korrigiert werden. Damit ergibt sich ein kurzer, schneller Regelkreis für leise Verzahnungen."

Crossover-Baureihe für E-Mobility-Komponenten

Die Firma Grob-Werke aus Mindelheim ist bekannt für ihr breites und differenziertes Maschinenportfolio. Das Angebot richtet sich zunehmend an Hersteller aus der Elektromobilität. „Die Entwicklung geht weiter, der Markt verlangt nicht nur Anlagen zur Herstellung von Statoren, Rotoren und Batterien. Auch Batteriewannen, Subframes, Rahmenstrukturbauteile und vieles mehr müssen in Leichtbauweise gefertigt werden, **Bild 2**", erläutert *Christian Müller*, CSO und Member of the Board. Eine aktuelle Maschinenserie wurde entwickelt, um Bauteile für den E-Antrieb in Leichtbauweise zu fertigen. Auch die ein- und zweispindligen Maschinen werden entsprechend weiterentwickelt. Neue Baugrößen stehen für 2023 auf der Agenda, um noch größere Bauteile für den E-Antrieb in einem Guss zu fräsen. Mittlerweile umfasst diese Serie fünf Maschinentypen: „Bauteiloptimierte Arbeitsräume, dynamisch und stabil – all das müssen die Maschinen kombinieren", konkretisiert *Müller*.

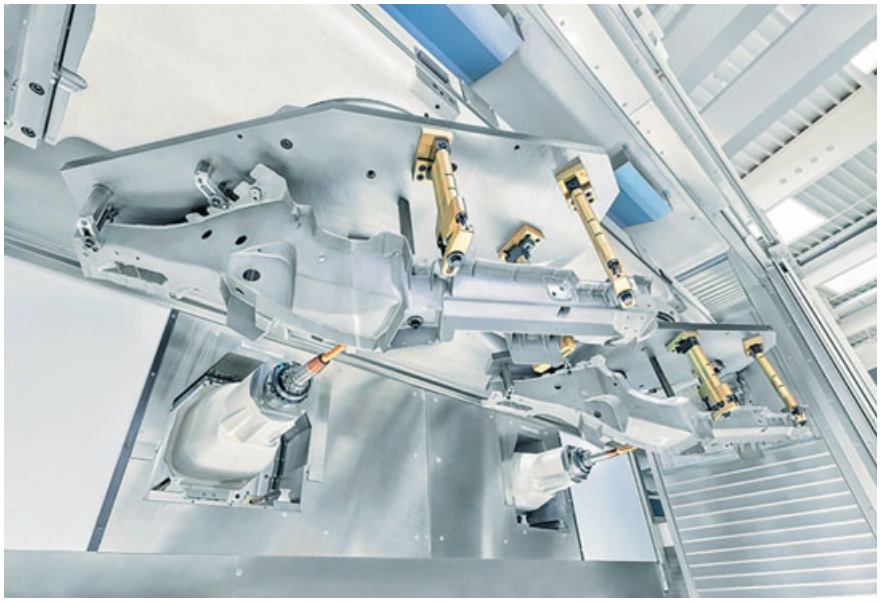


Bild 2. Die Maschinen aus Mindelheim kombinieren bauteiloptimierte Arbeitsräume, Dynamik und Stabilität. *Foto: Grob-Werke*

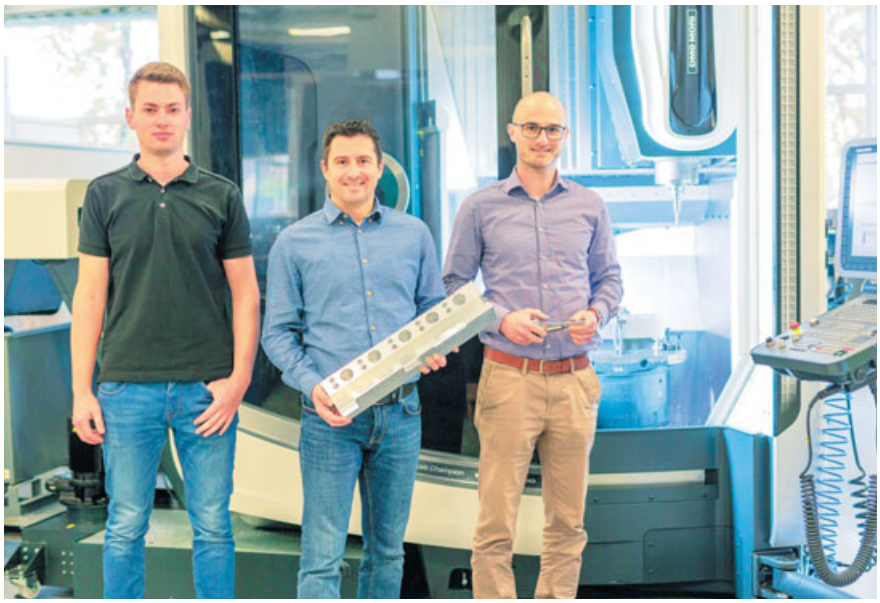


Bild 3. Haben sich beim Aalener Werkzeugspezialisten intensiv mit dem Batterierahmen und der optimalen Bearbeitungsstrategie auseinandergesetzt (v. l.): *Andreas Wolf*, Versuchsingenieur, *Florian Hofmeier*, Component Manager Driveline, *Michael Kucher*, Component Manager E-Mobility. *Foto: Mapal*

Mit Strategie zum Batterierahmen

Der Batterierahmen ist ein zentrales Bauteil in jedem elektrisch angetriebenen Fahrzeug. Aus unterschiedlichen Kundenbauteilen haben die Experten für Elektromobilität bei der Mapal Fabrik für Präzisionswerkzeuge Dr. Kress KG aus Aalen einen Musterprozess erarbeitet. Er bildet an einem „Generic Component" die hauptsächlichen Bearbeitungen am Batterierahmen ab.

Als herausfordernd bei der Zerspanung zeigen sich dabei unter anderem gestufte Bohrungen, Bohrungen mit unterschiedlichen Durchmessern durch mehrere Layer, gefräste Taschen mit verschiedenen Abmessungen, Absätze und vor allem die Vibrationsanfälligkeit durch dünne Rippenstrukturen sowie die Kontrolle des Spanbruchs. „Mapal meistert diese Herausforderungen vor allem mit optimal dafür ausgelegten Fräsern. Selbst die meisten Bohrungen am Rahmenbauteil werden gefräst, **Bild 3**", berichtet *Matthias Winter*, Global Head of Segment Management Automotive. „Zwar ist die Taktzeit beim Fräsen von Bohrungen etwas länger, allerdings bietet das Verfahren in diesem konkreten Fall deutliche Vorteile – kurze Frässpäne, die sich einfach beseitigen lassen, eine geringere Gratbildung, eingesparte Werkzeugwechsel und Prozesssicherheit."

Um die Absätze, Taschen und Nuten zu schruppen und die Taschen zu schlichten, empfehlen die Aalener einen speziellen Vollhartmetall (VHM)-Fräser. Dieser erreicht bestmögliche Oberflächen und arbeitet auch in den Ecken bei großer Umschlingung und hoher Belastung stabil. Besonderheit: Anwender können große Tiefen in einem Zug schlichten. Das spart Zeit und ist damit besonders wirtschaftlich. Beim Schlichten am Batterierahmen

wird eine Oberfläche von bis zu Rz = 1 µm (gemittelte Rautiefe) erreicht. Insgesamt kommen für den gesamten Musterprozess sieben Werkzeuge – davon sechs Fräser – zum Einsatz. Geboten wird für die Aufgabe ein Komplettpaket aus polykristallinen Diamant- (PKD) und VHM-Werkzeugen, Spannfuttern und dem entsprechenden Prozess. Dafür passen die Spezialisten den Musterprozess individuell auf die jeweiligen Gegebenheiten an.

Digitalisierung als Enabler neuer Getriebearchitekturen

Hochdrehzahlmotoren eröffnen die Möglichkeit, einen Elektromotor mit geringem Volumen und hoher Leistung herzustellen. „Dieses Antriebskonzept erfordert jedoch eine hohe Getriebeübersetzung, um auf die verhältnismäßig niedrige Raddrehzahl zu kommen. Zeitgleich müssen die Getriebe höhere Wirkungsgrade als bisher erreichen, um die Reichweite des Fahrzeugs und die Dauerleistung des Antriebs nicht negativ zu beeinflussen“, erläutert Prof. Dr.-Ing. *Jürgen Fleischer,* Institutsleiter für Maschinen, Anlagen und Prozessautomatisierung beim wbk Institut für Produktionstechnik in Karlsruhe.

Auf Planetensätzen basierende Getriebekonzepte erfüllen diese Anforderungen. Die wirtschaftliche Herstellung der benötigten dünnwandigen Innenverzahnungen und Stufenplaneten mit nah liegender Störkontur ist aufgrund einer möglichen Kollision zwischen Werkstück und Werkzeug allerdings limitiert. Das am wbk zur Serienreife entwickelte Wälzschälen gestattet die hochproduktive und flexible Fertigung solcher Zahnräder, **Bild 4**.

In der industriellen Großserie kommt es aber zu deutlich schwankenden Verzahnungsqualitäten aufgrund von Werkzeugverschleiß und wechselhaften Materialchargen. Wegen der fehlenden In-Prozess-Datenerfassung bleiben vielfältige Möglichkeiten zur Korrektur der Verzahnungsgeometrie bis heute überwiegend ungenutzt. „Durch die Synergie von simulationsbasierter Soft-Sensorik und maschinenintegriertem Edge-Computing gelingt es, Profil- und Flankenabweichungen zu erkennen“, ergänzt der Institutsleiter. Hierbei werden auf Basis maschineneigener Daten Bearbeitungskräfte und Tool-Center-Point-Verschiebungen berechnet. Über eine echtzeitfähige Zahnradprofilprognose lässt sich die Auswirkung der Bearbeitungskräfte auf die hergestellte Verzahnungsqualität prognostizieren und korrigieren, **Bild 5**.

Bild 4. Das am wbk Institut für Produktionstechnik zur Serienreife entwickelte Wälzschälen gestattet die hochproduktive und flexible Fertigung der gezeigten Zahnräder. *Foto: wbk*

Bild 5. Mit einer echtzeitfähigen Zahnrad-Profilprognose kann die Auswirkung der Bearbeitungskräfte auf die Verzahnungsqualität prognostiziert und korrigiert werden. *Foto: wbk*

Fazit

Die E-Mobilität gehört ohne Frage zu den aktuellen Megatrends. Leichte und teilweise filigrane Komponenten sowie auch anspruchsvolle Materialien gilt es, wirtschaftlich zu bearbeiten. Dabei sind die eingesetzten Bearbeitungsmaschinen, Präzisionswerkzeuge und Prüfverfahren möglichst in einem Gesamtprozess zu betrachten. Welche Fertigungsverfahren verwenden führende Anbieter hierbei? – für Informationen über diese und viele weitere Fertigungsthemen bietet die EMO 2023 in Hannover eine ausgezeichnete Plattform.

www.klingelnberg.com
www.grobgroup.com
www.mapal.com
www.wbk.kit.edu

Dag Heidecker
arbeitet als Fachjournalist in Wermelskirchen.
Foto: Autor

Neue Schrägkugellager für die Hochgeschwindigkeitsbearbeitung unter hoher Last

Spindellager für Werkzeugmaschinen

Produktion von hochwertigen Bauteilen mit engen Toleranzen bei minimaler Bearbeitungszeit und möglichst ohne Nachbearbeitung: Das ist die Idealvorstellung der Anwender von Werkzeugmaschinen und zugleich der Branchentrend, der bei vielen Ausstellern der EMO 2023 im Vordergrund stehen wird. Eine Wälzlagerbaureihe, die speziell für diese Anwendung entwickelt wurden, leistet dazu einen Beitrag, weil sie sich für für extrem hohe Drehzahlen in Kombination mit hohen Lasten eignet.

TEXT: *Waldemar Sosnowski*

Wälzlager, die in den Hauptspindeln von Werkzeugmaschinen zum Einsatz kommen, müssen sehr hohe Anforderungen erfüllen (**Bild 1**) – zum Beispiel im Hinblick auf das Drehzahlniveau. Bei der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung ist ein Drehzahlkennwert n × dm von zwei bis drei Millionen und darüber nicht ungewöhnlich.

Bei Drehmaschinen treten sehr hohe Kräfte auf, weil der Materialabtrag beim Eintauchen des Werkzeugs ins Werkstück besonders hoch sein kann und zwangsläufig als hohe Last ins Lager eingebracht wird. Bei der Fräsbearbeitung treten je nach Formgebung der Frästeile und Fräsgeschwindigkeit ebenfalls sehr hohe Kräfte auf. Dabei gelten – auch beim Drehen – hohe Anforderungen an die Laufgenauigkeit. Eventuelle Ungenauigkeiten beim Lauf der Spindel, und seien sie noch so gering, würden zu Mängeln oder Fehlern in der Bearbeitung – und das heißt an den bearbeiteten Produkten – führen.

Bild 1. Schrägkugellagern für den Einsatz in den Spindeln von Werkzeugmaschinen. *Foto: NSK*

Enge Vorgaben für typische Kennwerte

Typische Kennwerte wie Lagerreibmoment und nicht wiederholbarer Radialschlag („Non-repeatable runout“; NRRO) müssen sich deshalb innerhalb enger Vorgaben bewegen (**Bild 2**). Das setzt eine extrem präzise Fertigung und Montage der Lagerkomponenten voraus, und es erfordert auch eine an die Einsatzbedingungen und Anforderungen angepasste Konstruktion der Wälzlager.

Für diese Anforderungen hat NSK verschiedene Baureihen von Schrägkugel- und Zylinderrollenlagern der Serie „Robust“ entwickelt, die sich unter anderm durch erhöhte Grenzdrehzahlen und eine sehr hohe Laufgenauigkeit auszeichnen.

Das gesamte Programm der Spindellager wird auf der EMO ausgestellt, und im Zentrum steht eine Europa-Premiere: die Schrägkugellager der Robustdyna-Baureihe (**Bild 3**). Sie eignet sich für extrem hohe Drehzahlen in Kombination mit hohen Lasten und damit zum Beispiel für hervorragende Ergebnisse bei der kombinierten Schrupp- und Schlichtbearbeitung. Konstruktionsmerkmale wie die Verwen-

dung größerer Kugeln und des von NSK-entwickelten SHX-Stahls schaffen die Voraussetzung für die Erhöhung der dynamischen Tragzahl um 15 %, während sich der Drehzahlkennwert mit rund drei Millionen n × dm auf sehr hohem Niveau bewegt.

Mit diesen Werten eignet sich Robustdyna sowohl für die Ultra-Hochgeschwindigkeitsbearbeitung mit kurzen Zykluszahlen und hohen Lasten als auch für die Bearbeitung von anspruchsvollen Materialien wie Titan und Verbundwerkstoffen.

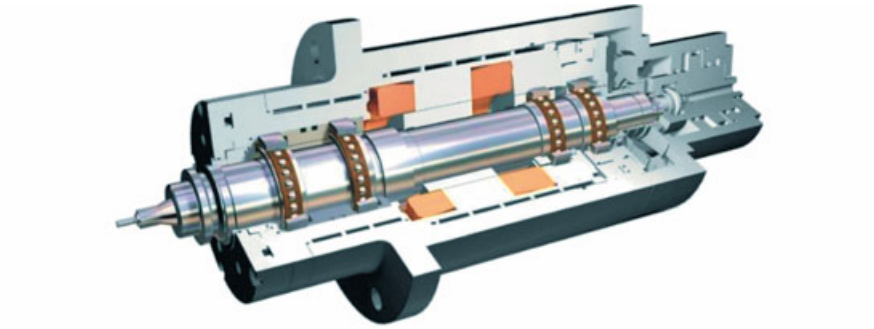
Risiko von Lagerschäden verringert sich

Aber nicht nur die dynamische, auch die statische Belastbarkeit der Hochleistungs-Spindellager wurde durch die Konstruktionsoptimierung um rund 15 % gesteigert. Damit verringert sich für den Anwender der Robustdyna-Schrägkugellager das Risiko von Lagerschäden im Falle von unerwarteten Kollisionen zwischen Spindel, Schneidwerkzeug, Werkstückträger oder Bauteil. Diese Eigenschaft trägt zu einem langfristig zuverlässigen und ausfallfreien Betrieb der Spindel.

Eine weitere wichtige Neuvorstellung auf der Messe ist das NSK-Schmierfett Robustgrd für Hochgeschwindigkeits-Spindellageranwendungen. Im Vergleich zum herkömmlichen NSK-Schmierfett verbessert es je nach Anwendung die Fresssicherheit ganz erheblich – bis um das Fünffache. Damit trägt es zu einer höheren Produktivität und zum langfristig stabilen Betrieb von Werkzeugmaschinen bei. Ein weiterer Vorteil: Eine reine Fettschmierung ermöglicht Energieeinsparungen im Vergleich zu Öl-Luft-Schmierverfahren.

Ebenfalls auf dem Stand zu sehen ist der Sursave (TSR)-Lagerkäfig von NSK für Hauptspindel-Schrägkugellager (**Bild 4**). Dieser außenringgeführte Käfig aus PPS wurde zwar schon der Fachöffentlichkeit vorgestellt, geht aber erst jetzt in Serienproduktion. Die Anwender profitieren von Energieeinsparungen, niedrigen Temperaturen, geringen Vibrationen, einem niedrigen Geräuschpegel und einem sehr niedrigen nicht wiederholbaren Rundlauf (NRRO). Eine um 20 % geringere Reibung als bei herkömmlichen Lagern führt zu Energieeinsparungen und höherer Genauigkeit, da die Wärmeausdehnung der Welle reduziert wird. Diese Verringerung der Reibung ist auf die Optimierung von Spiel, Führungsbreite und Oberflächenstruktur zurückzuführen. Letztere hat einen großen Einfluss auf den Schmierfilm, während die Lebensdauer des Schmierfetts aufgrund der besseren Gleitleistung und der niedrigeren Temperatur ebenfalls länger ist.

Auf der EMO wird NSK Schnittmodelle verschiedener Wälzlager zeigen, insbesondere von Spindellagern. Darunter sind allein zehn Schrägkugellager mit gleichem Bohrungsdurchmesser von 70 mm und unterschiedlichen Spezifikationen. Damit werden verschiedene Eigenschaftsprofile hervorgehoben, die durch die jeweiligen Konstruktionsmerkmale ermöglicht werden.



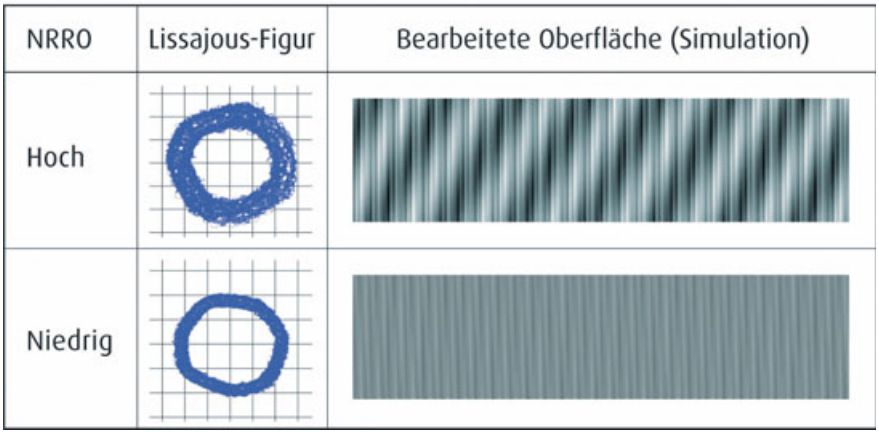


Bild 2. Eine Kenngröße bei der Beurteilung von Spindellagern ist der nicht wiederholbare Radialschlag („Non-repeatable runout"; NRRO). *Foto: NSK*

Bild 3. Die EMO bietet die Gelegenheit für die Europa-Premiere der neuen Robustdyna-Spindellager. *Foto: NSK*

Bild 4. Der Sursave-Käfig wurde dezidiert für Spindelantriebe entwickelt. *Foto: NSK*

Waldemar Sosnowski
Teamleader Application Engineering
NSK Deutschland GmbH
40880 Ratingen
www.nskeurope.com

Blick in das Feedstocklabor des wbk Instituts für Produktionstechnik: Dieses ist ausgestattet mit Technologien zur Vermessung von Feedstockeigenschaften und der Möglichkeit, eigene Feedstocks zu mischen und zu klassifizieren. *Foto: KIT/wbk*

Pulvergüte zur Herstellung von Hochleistungsbauteilen in der Additiven Fertigung gewährleisten

AM: Hohe Relevanz der Feedstock-Charakterisierung

Additive Fertigungsverfahren (Additive Manufacturing – AM) erlauben komplexe Bauteilgestaltungen. Die erzielbare Bauteilqualität wird nicht nur im Prozess, sondern auch entscheidend durch das Ausgangsmaterial, den sogenannten Feedstock, beeinflusst.

TEXT: *Victor Lubkowitz, Johannes Schubert, Frederik Zanger*

Die verschiedenen Verfahren in der Additiven Fertigung haben in den letzten Jahren eine rasante Weiterentwicklung erfahren. Höhere Verfahrensgeschwindigkeiten und eine Stabilisierung der Prozesse ermöglichen eine Steigerung der Bauteilqualität bei gleichzeitig sinkenden Preisen. In der industriellen Produktion haben sich das pulverbettbasierte selektive Laserschmelzen (engl. Powder Bed Fusion – Laser Beam: PBF-LB) zur Herstellung metallischer Komponenten sowie die badbasierte Photopolymerisation (engl. Vat Photopolymerization – LED: VPP-LED) zur Herstellung von Keramiken etabliert. Diese Verfahren erlauben die Produktion von komplexen Bauteilen und bieten Möglichkeiten zur Funktionsintegration, beispielsweise durch die direkte Fertigung von innen liegenden Kühlkanälen in Werkzeugen.

Charakterisierung von PBF-LB-Pulverfeedstocks

Obligatorisch in beiden Prozessen sind Ausgangswerkstoffe, die eine homogene und defektfreie Schichtbildung zulassen.

Um die Verfahrensgrenzen weiter zu verschieben, ist eine Optimierung der Ausgangswerkstoffe (Feedstocks) nötig. Ausgangspunkt dafür ist eine verlässliche und umfassende Charakterisierung und das Verständnis über deren Einfluss und die Wechselwirkungen entlang der gesamten Prozesskette.

Eine weit verbreitete Anwendung findet der PBF-LB-Prozess zur Herstellung von Spezialwerkzeugen für die spanende Bearbeitung. Typische Anwendungen sind gezielt geführte Kühlkanäle oder leichte Sonderwerkzeuge, die bei konventioneller Fertigung zu schwer für das Werkzeugmagazin wären. Damit diese mindestens die gleiche Standzeit aufweisen wie konventionell gefertigte Werkzeuge, dürfen keine Defekte durch den PBF-LB-Prozess eingebracht werden. Neben den Prozessstellgrößen wird dies durch hochwertige Pulverfeedstocks möglich, die durch ihre Fließfähigkeit mit hoher Dichte und ohne Fehler beschichtet werden können.

Bild 1. Eigenentwickelter Beschichtungsprüfstand zur detaillierten Untersuchung des Feedstockfließverhaltens und zur Entwicklung neuer Beschichtungstechniken. *Foto: KIT/wbk*

Ungünstig: zu feine und zu große Partikel

Eine Möglichkeit zur Gewährleistung der Fließfähigkeit ist die Verwendung von Feedstocks ohne feine Partikel. Abhängig vom Werkstoff dürfen keine Partikel kleiner als 15–20 µm verwendet werden, da die Haftkräfte zwischen kleinen Partikeln größer sind als die auf sie wirkenden Gewichtskräfte. Ein Feedstock mit feinen Partikeln kann mit klumpigem Mehl verglichen werden; ohne Feinanteil verhält sich dieser eher wie eine Flüssigkeit. Dieser Feinanteil wird häufig durch Sichtprozesse entfernt.

In Abhängigkeit der geplanten Schichtdicke müssen auch größere Partikel vermieden werden, damit sämtliche Partikel beim Beschichtungsprozess unter dem Rakel hindurchfließen können und keine Kratzer im Beschichtungsbild hinterlassen. Große Partikel werden klassischerweise durch einen Siebprozess entfernt. Zur Beschreibung der Feedstocks wird die Partikelgrößenverteilung (PGV) herangezogen. Die PGV ist allerdings nur ein Richtwert, um die Güte eines Pulvers zu beschreiben und die Fließfähigkeit abzuschätzen. Abhängig von den Bauteileigenschaften lohnt sich eine Anpassung, um beispielsweise eine höhere Aufbaurate zu Lasten der Oberflächenqualität zu erreichen oder durch Verwendung eines feinen Feedstocks, um die Oberflächenqualität zu steigern. In beiden Fällen bleibt die Fließfähigkeit der Feedstocks jedoch erhalten.

Fließfähigkeit bewerten

Bekannte Größen zur direkten Beschreibung der Fließfähigkeit sind zum Beispiel die Hausner-Ratio oder die Fließzeit, deren Messungen bereits in Normen beschrieben und standardisiert sind. Diese eignen sich allerdings nur bedingt zur Beschreibung und stoßen insbesondere bei Feedstocks mit geringer Fließfähigkeit, die aber noch verarbeitet werden können, an ihre Grenzen. Um diese Charakterisierungslücke zu schließen, werden in der Wissenschaft neue Kennwerte und Messmethoden untersucht. Eine derartige Möglichkeit ist die Bestimmung des dynamischen Schüttwinkels. Dazu wird das zu untersuchende Material in einer durchleuchteten Trommel rotiert und die Feedstockbewegung als Bildabfolge erfasst und ausgewertet.

Um den Zusammenhang zwischen gemessenen Werten und der tatsächlichen Beschichtbarkeit des Feedstocks abzuleiten, existiert am wbk Institut für Produktionstechnik ein selbstentwickelter Beschichtungsprüfstand. Dieser erlaubt es, den eigentlichen Beschichtungsprozess einer additiven Fertigungsanlage abzubilden und in inerter Atmosphäre neue Beschichtungskonzepte zu erproben. Ein seitliches Fenster ermöglicht Highspeed-Kameraaufnahmen von der eigentlichen Pulverbewegung direkt am Rakel, aus denen ein tieferes Verständnis für den Prozess abgeleitet werden kann, **Bild 1**.

Bauteilspezifische Pulvereigenschaften einstellen

Konsequenter Folgeschritt nach der Analyse und dem Verständnis der Feedstockeigenschaften ist deren gezielte Anpassung und Optimierung. Möglich ist beispielsweise die bereits erwähnte Anpassung der PGV oder die Zugabe neuer Legierungselemente bzw. keramischer Hartstoffe, um die Festigkeit, Steifigkeit und Härte der hergestellten Werkstoffe gezielt zu steigern. Um diese Anpassungen vorzunehmen, stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Mit einem Siebturm kann die PGV angepasst oder ein bestehender Feedstock fraktioniert werden. Alternativ oder ergänzend können die Feedstocks dann individuell gemischt werden. Dazu steht ein ebenfalls selbst konzipierter Mischer zur Verfügung, der über zwei senkrecht zueinander ausgerichtete und in der Drehzahl unabhängig einstellbare Drehachsen verfügt, **Bild 2**. Diese Freiheitsgrade erlauben eine

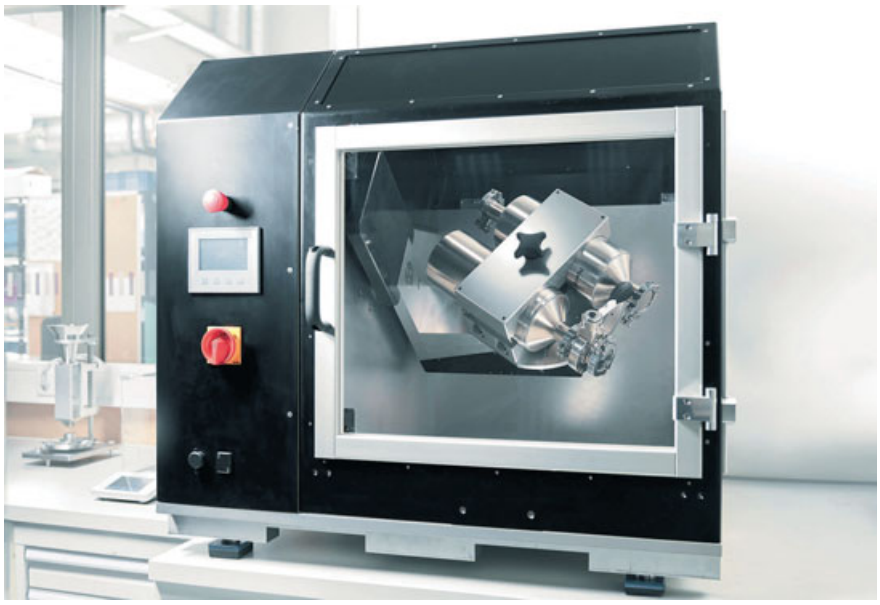


Bild 2. Zwei-Achs-Mischer mit frei einstellbarer Drehzahl und unabhängig einstellbarer Drehrichtung zur Mischung von bis zu vier verschiedenen Feedstocks gleichzeitig und 20 kg Zuladung. *Foto: KIT/wbk*

Bild 3. Rheometer mit angeschlossener Belichtungseinheit zur Bestimmung der Viskosität und des Aushärteverhaltens von Schlickerfeedstocks. *Foto: KIT/wbk*

schnelle und homogene Vermengung verschiedener Pulverwerkstoffe miteinander in einfachen Lagerbehältnissen, die auch zum eigentlichen Feedstockhandling an PBF-LB-Anlagen eingesetzt werden.

Eigenschaften und Analyse von VPP-Schlickerfeedstocks

Bei schlickerbasierten Additiven Fertigungsverfahren werden Suspensionen aus keramischem oder metallischem Pulver und einem zunächst flüssigen Binder aufgetragen und ortsselektiv durch Belichtung ausgehärtet. Dadurch ergeben sich andere Herausforderungen in der Gestaltung und Optimierung der Feedstocks, in diesem Fall Schlicker genannt. Insbesondere in neuartigen Verfahrensansätzen, in denen zur lokalen Eigenschaftsanpassung verschiedene Werkstoffe oder Schlicker in einem Bauteil kombiniert werden sollen, ist eine Charakterisierung und genaue Abstimmung aufeinander unerlässlich.

Damit die Schlicker in VPP-Anlagen verarbeitet werden können, muss ihre Viskosität innerhalb eines engen Prozessfensters eingestellt werden. Die Messung der Viskosität erfolgt in einem Rheometer in Abhängigkeit der Scher-Rate, **Bild 3**. Optimierte Schlicker weisen dabei über einen großen Scherratenbereich eine ähnliche Viskosität auf, um insbesondere bei Anlagen mit rotatorischem Schlickerauftrag einen stabilen Prozess zu gewährleisten. Neben der Viskosität ist auch das Aushärteverhalten der Schlicker von großer Bedeutung. Dieses kann am Rheometer mit angeschlossener Belichtungseinheit, die den Aushärteprozess in VPP-Anlagen imitiert, charakterisiert werden.

Die Messungen dienen der weiteren Optimierung der Schlickerzusammensetzung sowie zur Bestimmung geeigneter Parameter für den Aushärteprozess in der VPP-Anlage in kleinem Maßstab. Ebenso relevant für den VPP-Prozess ist die Bestimmung der Körnigkeit der Schlicker sowie die Aushärtetiefe, wodurch die minimal realisierbaren Schichtdicken und die resultierende Druckauflösung beeinflusst werden. Dabei können eigentlich im Bereich der Lack- sowie Beschichtungsindustrie eingesetzte Charakterisierungsverfahren, beispielsweise mittels Grindometer oder Keilschnittverfahren, zielführend und reproduzierbar angewendet werden.

Fazit

Mit den genannten Charakterisierungsverfahren wird eine effiziente Anpassung der Schlickerbestandteile und der Prozessstellgrößen auch außerhalb der Fertigungsanlage möglich. Durch eine iterative Optimierung ist es gelungen, die Prozesszeit zu reduzieren, sodass beispielsweise Spezialzahnräder wirtschaftlich gefertigt werden können.

www.wbk.kit.edu

Victor Lubkowitz, M.Eng., Jahrgang 1992, studierte Maschinenbau an der Hochschule Stralsund und Coburg. Er ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am wbk Institut für Produktionstechnik des Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

Johannes Schubert, M.Sc., Jahrgang 1997, studierte Maschinenbau am KIT und ist Gruppenleiter Additive Fertigung am wbk Institut für Produktionstechnik des KIT.

Dr.-Ing. **Frederik Zanger**, Jahrgang 1982, ist promovierter Maschinenbauingenieur und als KIT-Industrie-Fellow sowohl in der Forschung als auch der Industrie tätig.

Additiv gefertigte Werkzeuge

3D-gedruckte Werkzeuge: „der Dampfmaschine ebenbürtig“

Bohrer, Fräser und Spannmittel werden durch einen schichtweisen Aufbau leichter und besser kühlbar. Werkzeugmaschinen können dadurch wirtschaftlicher arbeiten.

TEXT: *Patrick Schroeder*

Werkzeugmaschinen sind aus der Industrie nicht wegzudenken. Sie drehen, fräsen, bohren und schleifen Bauteile. Vollautomatisiert und mit bis zu mehreren Zehntausend Umdrehungen pro Minute. Und das im Mikrometerbereich. Eine Präzision, die hohe Anforderungen an den Bau der Werkzeuge stellt. Meist sind mehrere zeitaufwendige Prozesse involviert – vom Schmieden, über das Schleifen und Drehen bis hin zum Schärfen. Umso erleichterter sind Werkzeughersteller, dass es mittlerweile eine Alternative zu klassischen subtraktiven Prozessen gibt: die additive Fertigung. Eine der beliebtesten 3D-Drucktechnologien ist dabei das Selective Laser Melting (SLM). Dabei breitet der Drucker eine hauchdünne Lage Metallpulver auf seiner Bauplattform aus. Ein Laser schmilzt dann das Material Schicht für Schicht überall dort auf, wo das Bauteil entstehen soll.

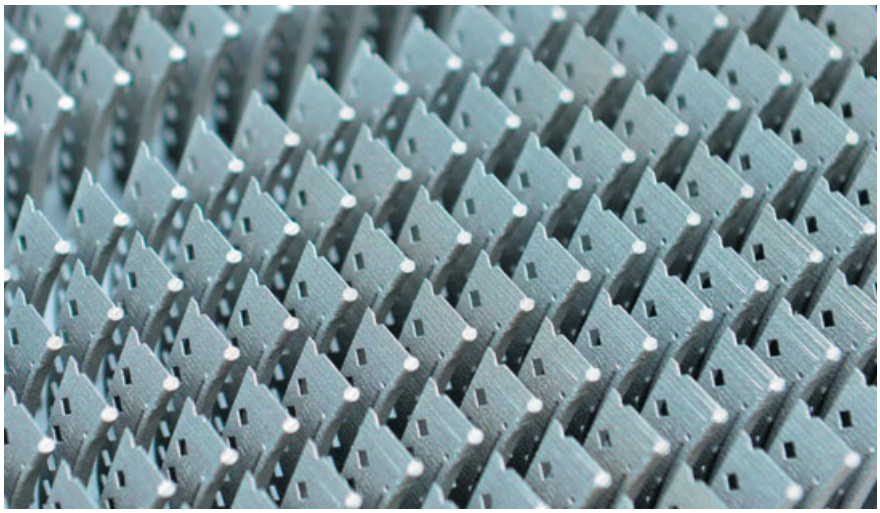
Der größte Vorteil dieser werkzeuglosen Fertigung: Designfreiheit. So können Werkzeugentwickler hochkomplexe Bohrer-Geometrien realisieren, die mit subtraktiven Methoden unmöglich sind. Ein Beispiel dafür sind integrierte Kühlkanäle. Sie lassen sich in der klassischen Fertigung in der Regel nur geradlinig im Kern des Bohrers ausführen. Dank des 3D-Drucks hingegen können sie auch spiralförmig im Inneren verlaufen, beispielsweise parallel zur Nebenschneide. So lassen sich bislang kaum erreichbare Wärme-Hotspots kühlen.

Leichtgewicht, das große Löcher zaubert: Das Werkzeug von Kennametal wiegt lediglich 11,5 kg. Antriebsspezialist Voith nutzt es zur Herstellung von Getriebegehäusen. *Foto: Kennametal*

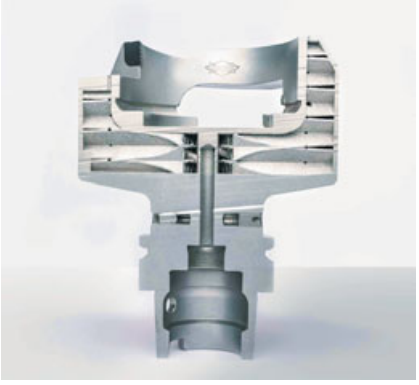
Die neue Design-Flexibilität verbessert die Wirtschaftlichkeit der Fräsmaschine. Da Bauteil und Werkzeug schneller abkühlen, reduziert sich die Zykluszeit.

Wabenstruktur dämpft und reduziert das Gewicht

Zu den Anwendern des 3D-Drucks im Werkzeugbau zählt die Mapal Präzisionswerkzeuge Dr. Kress AG. Das Unternehmen aus Aalen bei Stuttgart hat ein neuartiges Glockenwerkzeug für das Fräsen von Schlauchanschlüssen realisiert. Im Rahmen einer hybriden Fertigung wurde die neue Werkzeuggeometrie auf einen Grundkörper mit einer HSK-63-Schnittstelle gedruckt. Die Besonderheit: Im Inneren des Werkzeugs findet sich eine speziell ausgelegte Wabenstruktur – kein Vollmaterial. Dadurch ist das Werkzeug um 30 % leichter. Und durch die dämpfende Wirkung der Struktur erhöht sich – so Mapal – die Standzeit um circa 40 %. Zerspaner könnten das Werkzeug mit höheren Schnittdaten nutzen, ohne dass die Bearbeitungsqualität leide. So ließe sich die Bearbeitungszeit im Vergleich zum klassischen Werkzeug um 50 % senken.



Eine 3D-gedruckte Gussform für Autoreifen. Das französische Unternehmen Michelin nutzt sie, um besonders feine Lamellen in der Lauffläche zu erzeugen. *Foto: Michelin*



Glockenwerkzeug für das Fräsen von Schlauchanschlüssen. Hersteller: Mapal. *Foto: Mapal*

Topologieoptimierter Fräskopf, gedruckt aus Titan: „Coromill 390“ von Sandvik. *Foto: Sandvik*

Wie effektiv das Drucken von Werkzeugen sein kann, zeigt auch Sandvik Machining Solutions. Der Werkzeugbauer aus Schweden bietet die Produktfamilie „Coromill 390“ an. Früher entstanden die Werkzeuge in einem subtraktiven Verfahren aus herkömmlichem Werkzeugstahl. „Hin und wieder kommt eine neue Technologie auf den Markt, die uns dazu zwingt, alles zu überdenken“, sagt *Mikael Schuisky*, Geschäftsbereichsleiter Additive Fertigung bei Sandvik. „Die additive Fertigung ist der Dampfmaschine ebenbürtig – und es ist wirklich eine Ehre, das miterleben zu dürfen.“

Angetrieben von dieser Begeisterung hat sich Sandvik vom Werkzeugstahl verabschiedet. „Coromill 390“ wird nun aus einer Titanlegierung gedruckt, einem Material, das sich subtraktiv nur schwer bearbeiten lässt. Der 3D-Drucker hingegen hat mit dem Metall keine Probleme. Er baut das Werkzeug schichtweise aus Titanpulver auf. Aufgrund einer Topologieoptimierung konnte das Gewicht um mehr als 80 % gesenkt werden, ohne dass die Festigkeit darunter leidet. Dank der Gewichtsersparnis gibt es weniger Vibrationen im System. Die Folge: eine gleichmäßigere Fräsleistung.

Riesiger Bohrer, kleines Gewicht, weniger Wartung

Eine weitere Firma, die auf 3D-Druck setzt, ist Kennametal. Der US-Werkzeughersteller stand vor der Herausforderung, für den Kunden Voith eine Lösung für Getriebegehäuse herzustellen. Ein Werkzeug, das Bohrungen mit bis zu 350 mm Durchmesser bei engen Toleranzen ermöglichen sollte. Eine Herausforderung. Denn bei dieser Größenordnung sind in der Regel sehr steife Werkzeuge gefragt, die bei klassischer Fertigung 25 kg und mehr wiegen. Damit wären sie aber zu schwer für vorhandene Maschinen.

Um Gewicht zu sparen, hat Kennametal deshalb in einem generativen Designprozess eine organische Form entwickelt, die an eine Struktur aus der Natur erinnert. Eine Form, die nur 11,5 kg auf die Waage bringt. Und trotzdem ausreichend stabil und steif ist. „Das Kennametal-Werkzeug lieferte vom ersten Einsatz an hervorragende Leistung und erzielte eine Reduzierung der Bearbeitungszeit um 50 %“, sagt *Friedrich Oberländer*, Director Production Technology bei Voith. „Darüber hinaus begrenzt das reduzierte Gewicht die Belastung von Magazin und Spindel – was die Wartungskosten senkt.“

Auch bei der Herstellung von Gussformen bietet der 3D-Druck Vorteile: Dem Reifenhersteller Michelin ist es gelungen, Formen mit besonders filigranen Profilstrukturen additiv aufzubauen. Sie sorgen für feine Lamellen in der Lauffläche, welche Haftung und Traktion des Reifens auf der Fahrbahn verbessern. Dank dieser neuen Profilstrukturen sei es möglich, die Reifen bei optimaler Bremsleistung bis zur gesetzlichen Mindestprofiltiefe von 1,6 mm herunterzufahren. Durch dieses Ausreizen der Lebensdauer könnten europäische Verbraucher pro Jahr 6,9 Mrd. € sparen. Und gleichzeitig CO_2-Emissionen um 6,6 Mio. t reduzieren.

Selbst Spannmittel lassen sich mit dem 3D-Drucker herstellen. Das zeigt H.P. Kayser. Der Metallbauspezialist hat in der Vergangenheit alle Vorrichtungen aus dem Vollen gefräst. Der Nachteil: Der Geometrie waren Grenzen gesetzt. Ein Dämpfer besonders für den Leichtbau, der häufig komplexes Bauteildesign und individuelle Spannkonzepte verlangt. 3D-Drucker machen es nun möglich, Vorrichtungen in kürzester Zeit nach eigenen Vorstellungen herzustellen. „Wir können die Vorrichtungen so aufbauen, wie es die Zugänglichkeit für die Roboterschweißoptik erfordert und gleichzeitig die Entnahme des Bauteils durch eine weite Öffnung erleichtern“, erklärt Vertriebsmitarbeiter *Tobias Scheffel*. Dank des 3D-Drucks sei es zudem möglich, Leitungen in das Spannwerkzeug zu integrieren, die Schutzgas an die Laserschweißnaht führen. Dank der dadurch verbesserten Fügenaht entfiele ein Nachbearbeitungsschritt.

Patrick Schroeder ist freier Journalist aus Paderborn.