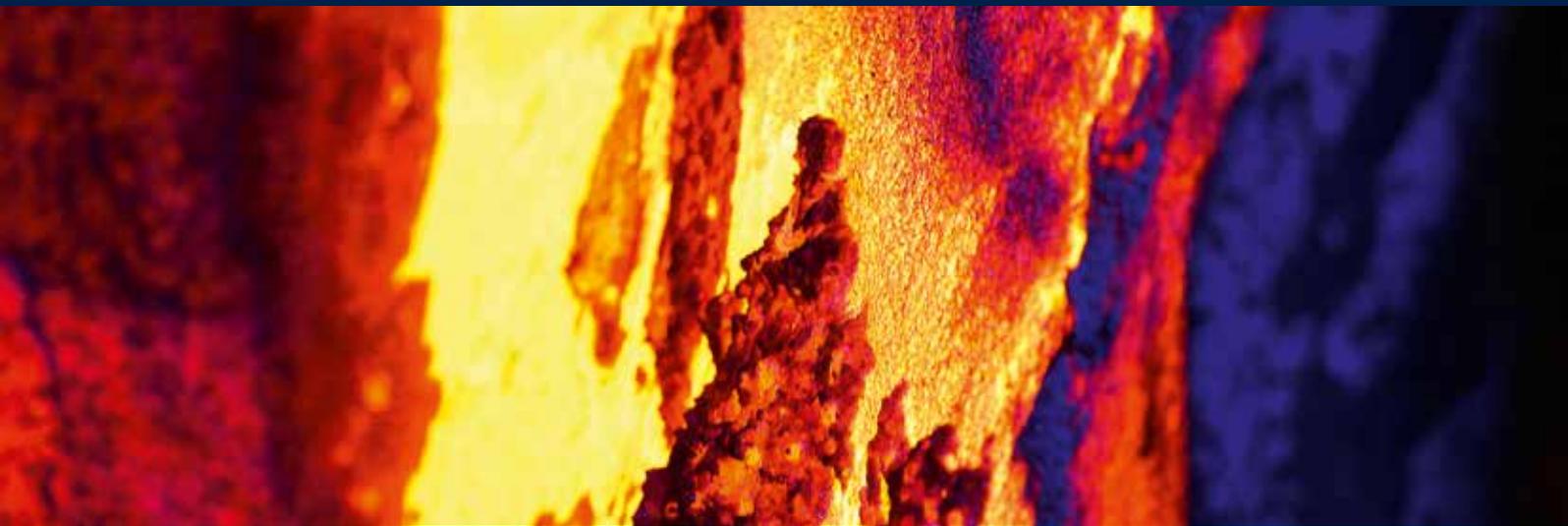
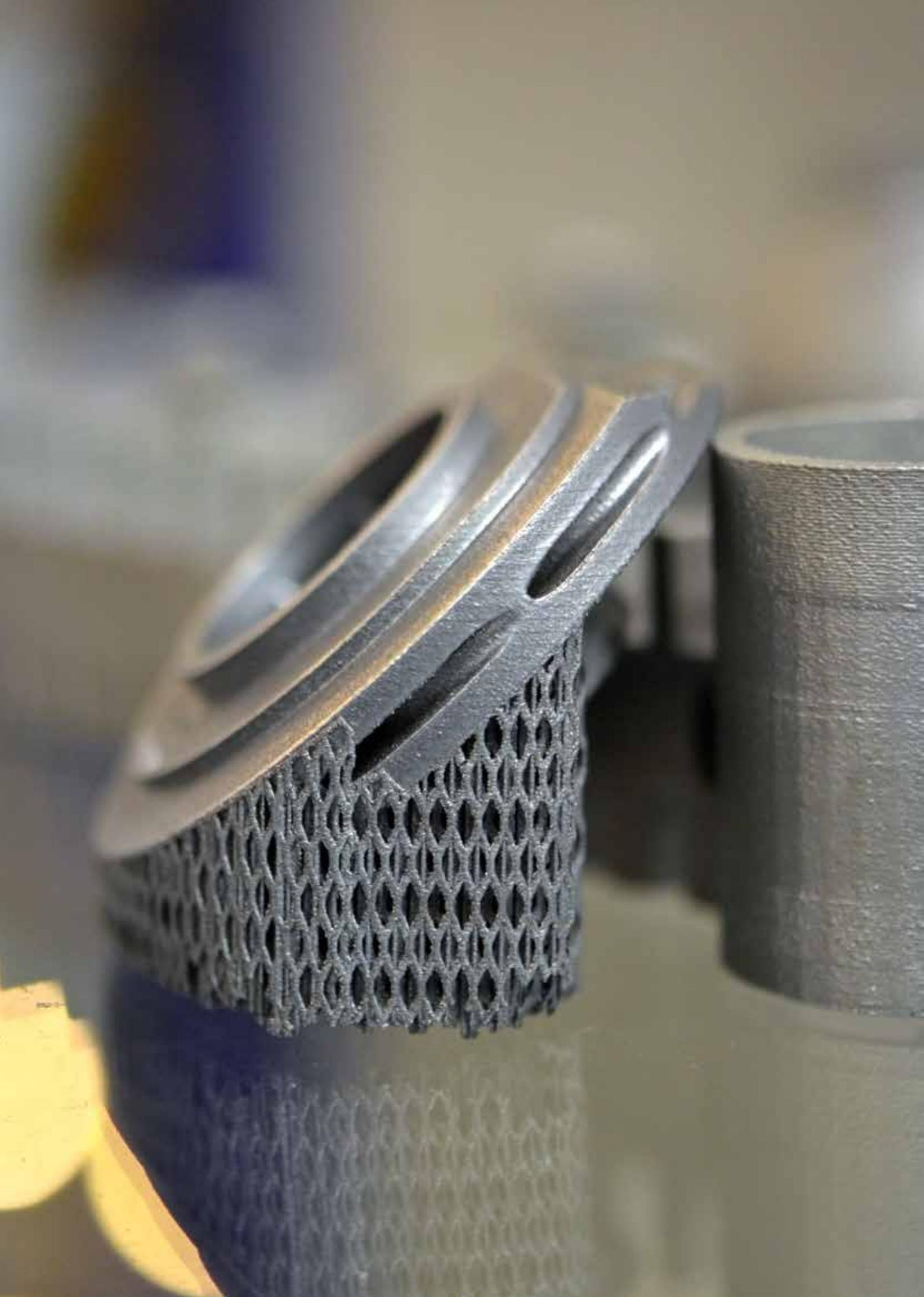


FUTURE MANUFACTURING

Magazin für intelligente Produktion



Additive Fertigung
Augmented Reality



Digitale trifft auf reale Welt

Zahlen, Daten, Fakten



Die Realität profitiert von der virtuellen Welt. Die Technik kann zur Optimierung beitragen oder dabei helfen, Maschinen zu reparieren und eine Wartung durchzuführen. Um 85,4 % jährlich soll der Weltmarkt für Augmented Reality auf **156 Milliarden** US-Dollar bis zum Jahr 2022 steigen.

Eine Analyse zeigt, dass im Jahr 2023 über **20 Millionen** Konsumenten in Deutschland regelmäßig Augmented-Reality-Funktionen nutzen. Damit steigt die Zahl der aktiven AR-Nutzer in den nächsten Jahren durchschnittlich um über 50 Prozent pro Jahr.

Datenbrillen werden häufig genutzt, um das Potenzial von **Augmented Reality** auszuschöpfen. Entwickler werden in den kommenden Monaten mit innovativen AR-Angeboten aufwarten. Navigationsfeatures erleichtern den Alltag, mobiles Einkaufen wird interaktiv und AR-Games machen Spaß.



Editorial

3D-Druck in der Industrie

Kommt 3D-Druck in der Industrie zum Einsatz, dann spricht die Fachwelt von additiver Fertigung (Additive Manufacturing, AM). Der Sammelbegriff umfasst zahlreiche Verfahren zur Verarbeitung von Metallen, Kunststoffen, Keramiken und weiteren Materialien, die ein großer Vorteil eint: Sie erzeugen komplexe Bauteile ohne vorhergehenden Werkzeugbau.

Was anfangs im Rapid Prototyping Furore machte, nutzt die Industrie vermehrt zur Fertigung von Einzelteilen, Kleinserien und Werkzeugen, zur dezentralen On-Demand-Produktion von Ersatzteilen oder Individualisierung von Massenprodukten. Das Potenzial ist enorm. Um es zügig zu heben, hat sich 2014 die Arbeitsgemeinschaft Additive Manufacturing im VDMA gegründet. Heute arbeiten darin Unternehmen aus allen Bereichen der additiven Wertschöpfungskette zusammen: Industrielle Anwender, AM-Anlagenbauer und Zulieferer, Material-, Software- und Automatisierungsspezialisten, Fertigungsdienstleister und Forschungsinstitute.

Eine aktuelle Mitgliederumfrage belegt die zunehmende Reife der Branche. Prototypen machen kaum noch ein Viertel der Produktion aus. Drei Viertel entfallen zu vergleichbaren Anteilen auf additiv gefertigte Werkzeuge, Ersatzteile und Serienprodukte.

Für den breiten industriellen Serieneinsatz bedarf es robuster, hochgradig automatisierter Prozessketten. Der Weg dorthin führt über die Vernetzung der Akteure entlang der Prozesskette. Der Austausch ihrer Anwendererfahrungen und ihrer Perspektiven auf die Prozesse ist die Basis dafür, dass die junge Branche schnell zu einem gemeinsamen Prozessverständnis gelangt. Gerade weil die Technologie so heterogen ist, liegt der Schlüssel in der Vielfalt: Sie erlaubt es den Akteuren, technologische Herausforderungen differenziert zu betrachten und Spezifika verschiedener Werkstoffe, Verfahren und Anwendungen zu berücksichtigen.

Die Arbeitsgemeinschaft Additive Manufacturing repräsentiert diese Vielfalt. Gemeinsam erarbeiten ihre 150 Mitglieder die Basis, um Einzelprozesse Schritt für Schritt zu vernetzen. Ziel ist die Integration von Additive Manufacturing in die Smart Factory. Denn dort können additive Verfahren ihre Stärken ausspielen: maximale Flexibilität, Designfreiheit und Umsetzungsgeschwindigkeit.

Neuste Entwicklungen finden Interessierte zum Beispiel auf der Branchenleitmesse Formnext vom 19. bis 22. November in Frankfurt. Die Messe ist seit ihrer Premiere 2015 vom Start-up zur dynamisch wachsenden Industriemesse geworden.



Rainer Gebhardt
Projektleiter Arbeitsgemeinschaft
Additive Manufacturing
VDMA

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Rainer Gebhardt', written in a cursive style.

Rainer Gebhardt

Inhalt

Editorial	4
Additive Fertigung	
Pulverbettverfahren im Vergleich: Binder Jetting oder selektives Laserschmelzen?	6
<i>Exone: Höhere Prozessgeschwindigkeit und bessere Qualität des Endprodukts</i>	
Sauberer 3D-Druck für saubere Abwasserkanäle	8
<i>Trumpf: Mehr Effektivität mit additiv gefertigten Düsen</i>	
Quantensprung in der Kupferverarbeitung	10
<i>Proto Labs: Bekannte Eigenschaften mit neuen Freiheiten</i>	
Der Einsatz von 3D-Druck im Ersatzteilbereich	12
<i>Antares: Chancen und Herausforderungen beim Reverse Engineering</i>	
Neues aus der Industrie	14
Augmented Reality	
Pulverbeschichtung 4.0: Wie Augmented Reality die Arbeit in der Maschinenhalle erleichtert	16
<i>Ubimax: Relevante Informationen werden in das Sichtfeld eingeblendet</i>	
Augmented-Reality-Inspektion durch exakte Registrierung von CAD-Modell und Kamerabild	18
<i>Visometry: Qualitätssicherung durch Tracking mit Computer Vision</i>	
Digitale Power für den Schaltschrankbau	20
<i>WSCAD: Unterstützung der Techniker bei Verdrahtung und Wartung</i>	
Augmented-Reality-Headsets für digitale Geschäftsmodelle	22
<i>Oculavis: Remote Service mit dem Blick auf die tatsächliche Situation</i>	
Unbestechlicher Helfer auf der Nase: Die Datenbrille in der Logistik	24
<i>Picavi: Millionenfache Picks schnell und präzise</i>	
An Augmented Reality führt kein Weg vorbei	26
<i>AP&S und Tepcon: Lösungen mit dem Einsatz erweiterter Realität</i>	
Die intelligente Datenbrille bietet Unterstützung in der Fertigung	28
<i>Siemens: In Verbindung mit neuartigen Interaktionsmodellen bieten tragbare Endgeräte einen Mehrwert</i>	
Bei der Anlagenentwicklung den Überblick behalten	30
<i>Machineering: Nutzer können in Gruppen interagieren</i>	
Mit Brille senkt BAE Systems den Trainingsaufwand	32
<i>PTC: Mit modernen Lernmethoden neue Mitarbeiter anleiten</i>	



Prototypen und Kleinserien aus niedriglegiertem Kupfer eröffnen durch 3D-Druck eine neue Welt für Bauteile.

10



Mit der Pick-by-Vision-Lösung wissen die Werker genau, welche Ware aus dem Regal kommissioniert werden muss.

24



Augmented Reality in Verbindung mit Simulation kann Probleme bei der Anlagenentwicklung im Vorfeld lösen.

30

FUTURE MANUFACTURING 2020

Die Themen der nächsten Ausgaben: Digitale Farbig und künstliche Intelligenz, elektrische Automation, Antriebstechnik, Intralogistik.

Pulverbettverfahren im Vergleich: Binder Jetting oder selektives Laserschmelzen?

ANDREW KLEIN

Die Vorteile des Binder-Jetting-Verfahrens im Vergleich zum Elektronenstrahlschmelzen und zum selektiven Laserschmelzen werden deutlich, wenn man alle Verfahrensschritte und die finalen Bauteile berücksichtigt. Aufgrund der höheren Prozessgeschwindigkeit, des unkomplizierten Verfahrens und der Qualität des Endprodukts ist zu erwarten, dass diese Technologie zunehmend zum Einsatz kommen wird.

Fotos: ExOne



Das Laufrad ist ein im Binder Jetting Verfahren hergestellter Grünkörper. Dieser Grünkörper muss im Anschluss an den Druck im Sinterofen gebrannt werden. Im Binder-Jetting-Verfahren können sechs Materialien verarbeitet werden.

Bei strahlbasierenden Pulverbettverfahren wird eine dünne Schicht metallischen Pulvermaterials auf die Bauplattform aufgetragen und von einem Laser oder einem Elektronenstrahl in die gewünschte Form geschmolzen. Zu diesem Verfahren gehören unter anderem

das selektive Laserschmelzen (SLM) und das Elektronenstrahlschmelzen (EBM).

Auch beim Binder Jetting (BJ) kann das Pulverbett aus Metallpulver bestehen, ebenso eignen sich Kunststoffe, natürlicher oder synthetischer Sand oder andere Materialien in Pulverform. Auf die Pulver-

schicht wird über mehrere Düsen ein flüssiger Kleber an den Stellen aufgebracht, an denen das Bauteil entsteht. Erst dann folgt die nächste Pulverschicht. Die drei verschiedenen Techniken führen zu signifikanten Unterschieden hinsichtlich der Prozess- und Bauteileigenschaften.



Der 3D-Metall-Drucker ist für die Serienproduktion geeignet. Im Binder-Jetting-Verfahren können die Materialien Metall, Keramik oder Sand verarbeitet werden.

Bei SLM und EBM wird das Bauteil schnell erhitzt und wieder abgekühlt. Die thermische Belastung muss erst abgebaut werden, bevor das produzierte Bauteil weiterverarbeitet werden kann. BJ ist das einzige Verfahren, bei dem das Bauteil bei gleichbleibender niedriger Temperatur in Form gebracht wird und sofort weiterverarbeitet werden kann. Nach dem Sintern des Grünteils hat das finale Bauteil bessere isotrope Eigenschaften als Bauteile, die durch SLM oder EBM hergestellt wurden.

Pulverbett ersetzt Stützstrukturen

Für SLM und EBM müssen nicht nur thermische, sondern auch geometrieabhängige Stützstrukturen entwickelt werden, um den 3D-Aufbau zu gewährleisten. Bei EBM wird das Pulver, das das Bauteil umgibt, während des Fertigungsprozesses teilweise gesintert, sodass es als mechanischer Stützträger fungieren kann. BJ benötigt keine Stützträger, da es während des Niedertemperaturaufbaus von dem ungebundenen Pulver getragen wird. Ähnlich wie im Metallspritzgussverfahren werden keramische Stützträger gegebenenfalls erst im Sinterofen eingesetzt.

Höchste Prozessgeschwindigkeit

Verglichen mit herkömmlichen Produktionsverfahren kann der 3D-Druck oft durch Schnelligkeit überzeugen. Das addi-

tive Verfahren selbst ist oft der schnellste und einfachste Verfahrensschritt. Unterschätzt werden die Rüstzeiten und die Phasen, die nach dem Druck erfolgen.

Bei der reinen Druckzeit sollte man die Anzahl und das Volumen der zu fertigen Bauteile berücksichtigen: BJ ist grundsätzlich das schnellste Druckverfahren. Rechnet man jedoch die notwendigen Verfahrensschritte wie das Aushärten und Sintern, in die Gesamtzeit ein, kann unter Umständen EBM für den Druck eines einzelnen Bauteils besser geeignet sein. SLM ist häufig die langsamste Technologie im Hinblick auf die gesamte Prozesszeit.

Grundsätzlich gilt: Je größer die bedruckte Fläche der einzelnen Schichten in einem Druckjob ist, desto effizienter erweist sich das BJ im Vergleich zu den strahlbasierenden Verfahren. Das liegt unter anderem daran, dass SLM und EBM jeden Teilequerschnitt einzeln mit einer punktförmigen Energiequelle belichten müssen. Im Gegensatz dazu ist die notwendige Zeit für die Überfahrt des Inkjet Druckkopfs konstant – unabhängig davon, ob eine oder mehrere Schichten aufgebaut werden. Obwohl viele SLM-Systeme mit mehreren Lasern arbeiten, ist die Aufbaugeschwindigkeit oftmals langsamer als beim Binder Jetting.

Beim BJ fallen das Entpulvern eines Betts zum Entfernen von Grünteilen, das Aushärten und das Sintern in der Nachbereitung ins Gewicht. Das Vorbereiten der Anlage für einen neuen Druckauftrag dau-

ert ungefähr eine Stunde. Sowohl SLM als auch EBM benötigen eine qualifizierte Maschinenvorbereitung, einschließlich Reinigung und Komponentenwechsel, was zwei bis drei Stunden Zeit benötigt.

Bei SLM muss zudem nach dem Drucken das Bauteil mehrere Stunden lang bei 400 bis 800 Grad Celsius spannungsfrei gegläht werden, um induzierte Eigenspannungen zu reduzieren. Das Entfernen von Stützträgern ist sowohl beim SLM als auch beim EBM erforderlich. Beim SLM bedarf es dabei sogar einer maschinellen Bearbeitung.

Eine Untersuchung der Mikrostruktur der endgültigen Bauteile durch ExOne ergab: Sowohl EBM als auch SLM erzeugen säulenförmige Kornstrukturen mit relativ großen Körnern, BJ eine feinkörnige und äquiaxiale (gleichachsige) Struktur. Da Größe und Gestalt der Körnung ein wesentlicher Faktor für die finalen mechanischen Eigenschaften des Bauteils sind, kann das Verfahren in diesem Bereich besonders punkten. Denn eine gleichmäßige Mikrostruktur führt nicht nur zu den gewünschten isotropen mechanischen Eigenschaften, sondern auch zu einer längeren Materiallebensdauer. ●

.....
Andrew Klein
 Director of Research & Development
 ExOne GmbH

Sauberer 3D-Druck für saubere Abwasserkanäle

RAMONA HÖNL

Zusammen mit einem Düsenhersteller und einer Hochschulei ist das Design von Kanalreinigungsdüsen für den 3D-Druck optimiert worden. Die additiv gefertigten Düsen lassen sich schneller herstellen und reinigen die Kanäle besser.

Bislang fertigt man Kanalreinigungsdüsen in vier Schritten: Material zuschneiden, drehen, fräsen und kleben. In Kooperation mit dem Düsenhersteller USB Düsen und der Hochschule Heilbronn hat Trumpf die Prozesskette mit Hilfe von additiver Fertigung (Additive

Manufacturing, AM) verkürzt und die Bauteile optimiert. Das Ergebnis: 53 Prozent höhere Maschinenverfügbarkeit für den Düsenhersteller und eine bessere Strahlführung. Weiterhin rechnen die Experten mit einer besseren Reinigungsleistung und einem geringeren Wasserverbrauch.

Um größere Abwasserkanäle zu säubern, lassen Mitarbeiter sogenannte Reinigungsbomben, die durch einen Schlauch mit dem Fahrzeug verbunden sind, auf einem Schlitten durch den Kanal gleiten. Rund um den Kopf der Bombe sind zwölf bis 15 Düsen verschraubt, aus denen





Die optimierte, 3D-gedruckte Düse für die Kanalreinigung des Unternehmens USB Düsen.

Wasser herausspritzt. Der Strahl trifft mit einem Druck von etwa 300 bar auf die Kanalwand und löst den Schmutz, der dann vom Fahrzeug über den Schlauch eingesaugt wird.

Herkömmliche Düsenfertigung ist zeitaufwändig

Obwohl die Düsen der Bombe simpel aufgebaut sind, benötigt man für die Herstellung vier Schritte. Das Rohmaterial, Edelstahl, wird erst zugeschnitten und anschließend in der Drehmaschine zu einem massiven Gewinde geformt. Danach werden zwei Rohlinge in einer Vorrichtung der Fräsmaschine positioniert, in welcher die Kontur einer Mutter auf die Stirnseite gefräst wird. Zuletzt klebt der Werker von Hand einen Keramikeinsatz hinein.

„Für jeden Schritt muss der Mitarbeiter das Bauteil aus der Maschine herausnehmen. Außerdem kommt es beim Kleben zu Ungenauigkeiten, wodurch die Strahlführung verändert wird“, kritisiert Fatih Arikcan, Applikateur Additive Manufacturing bei Trumpf. Mit additiver Fertigung ist die Herstellungszeit verkürzt und gleichzeitig die Reinigungsleistung verbessert worden.

Hybride Prozesskette für maximale Ersparnis

Für die neuen Düsen verfolgten die Experten einen hybriden Ansatz, also eine Kombination von konventionellen und additiven Verfahren. Beim massiven Unterbau mit Gewinde, der Preform, sehen sie weiterhin die Drehmaschine vor. „Der Prozess läuft solide. Additive Fertigung bringt bei

diesem Schritt keinen Mehrwert, sondern würde im Gegenteil die Prozessdauer sogar verlängern“, informiert Arikcan.

Die folgenden Schritte – Fräsen und Kleben – soll der 3D-Drucker übernehmen. Als Herstellungsverfahren wählte Trumpf das Laser Metal Fusion (LMF), bei dem ein Laser das Bauteil Schicht für Schicht im Pulverbett aufbaut. „Das Verfahren ist für komplexe Geometrien prädestiniert. Diese benötigen wir, um die Funktionalitäten – also maximale Reinigungsleistung mit minimalem Wasserverbrauch – zu realisieren“, erläutert Arikcan. Außerdem haben die Experten das Bauteil so konstruiert, dass beim Drucken keine Stützstrukturen erforderlich sind und die Nacharbeit entfällt. Da eine Software den Druckprozess steuert, gehören Ungenauigkeiten, die beim manuellen Kleben oft entstanden sind, der Vergangenheit an.

Für bessere Bauteileigenschaften vergrößerten die Mitarbeiter den Aufsatz der Düse und integrierten eine äußere Kanalführung. Auf diese Weise wird dem System Luft zugeführt und der Strahl trifft fokussierter auf der Reinigungsfläche auf. Die Preforms samt Aufdruck lassen sich unmittelbar nach dem Druckprozess in die Bomben hineindreuen. Dafür ist es nicht einmal notwendig, die Substratplatte aus der Maschine auszubauen. „Damit ist erstmals eine Serienfertigung für die Stückzahl von 10.000 Düsenensätzen pro Jahr möglich“, berichtet Arikcan.

Maschinenverfügbarkeit verdoppelt

Um die 3D-gedruckten Bauteile zu testen und zu validieren, haben die Experten

einen Prüfstand aufgebaut. „Die Messungen haben ergeben, dass sich bei den konventionellen Arbeitsschritten 53 Prozent Zeit einsparen lassen“, freut sich Arikcan. Zum Einsatz kam der 3D-Drucker TruPrint 1000 mit Single-Laser-Funktion. Mit einer Multi-Laser-Anlage sei das Ersparnis sogar noch größer, weiß der Experte. Die neuen Düsen überzeugen auch mit einer besseren Strahlführung. „Wir konnten zeigen, dass der Wasserstrahl ruhiger verläuft als beim konventionellen Aufbau. Außerdem rechnen wir damit, dass sich der Druck auf der Fläche erhöht und sich der Wasserverbrauch reduziert“, freut sich Arikcan. Ein weiterer positiver Effekt ist, dass sich die Verfügbarkeit der Dreh- und Frässtationen steigert.

Trumpf stellt nicht nur die für den 3D-Druck benötigten Maschinen und Anlagen sowie die dazu passenden Laserstrahlquellen samt aller optischen Komponenten her, sondern hat auch die Technologie-, Prozess- und Digitalisierungskompetenz im Haus. „Wir denken in Form und Funktion. Unter diesen Gesichtspunkten schauen wir uns mit dem Kunden gemeinsam das Produktportfolio an und beraten ihn, an welchen Stellen 3D-Druck Sinn macht. Qualität, Kostenreduzierung und Zeitersparnis sind unsere wichtigsten Zielgrößen“, erklärt Arikcan. ●

Ramona Hönl
Sprecherin Additive Manufacturing
TRUMPF GmbH + Co. KG

Quantensprung in der Kupferverarbeitung

CHRISTOPH ERHARDT

Der Werkstoff Kupfer ist aus vielen Bereichen nicht mehr wegzudenken. Insbesondere mit Hilfe der additiven Fertigung ermöglicht die Herstellung von Kupferteilen komplexe Geometrien und eine erheblich schnellere Prototypenfertigung – bei gleichbleibenden Eigenschaften der Bauteile.



3D-Druck mit Kupfer ermöglicht komplexe Geometrien.



Die Legierung Kupfer-Nickel-Silizium-Chrom (CuNi2SiCr) kann jetzt mittels additiver Fertigung verarbeitet werden

Kulturgeschichtlich gesehen ist Kupfer eines der Materialien, deren Verarbeitung Menschen bereits seit Jahrtausenden umtreibt. Bereits bei den Assyrern wurde Kupfer zu Kunstobjekten und Werkzeugen verarbeitet. Fast 3000 Jahre später wird das Material von vielen Kunsthandwerkern weltweit geschätzt und in kaum veränderter Weise verarbeitet.

Was sich allerdings insgesamt verändert hat, sind die Möglichkeiten der Verarbeitung von Rohstoffen durch Menschen im Allgemeinen. Insbesondere in den vergangenen Jahrzehnten sind zu klassischen

Verarbeitungsformen wie Fräsen, Stanzen und Biegen andere Verarbeitungsmethoden hinzugekommen. So können am Computer erzeugte Dateien ohne Probleme direkt in eine überwiegend digitalisierte Fertigung gegeben werden, um möglichst schnell die gewünschten Teile zu erhalten. Insbesondere das CNC-Fräsen, das Spritzgussverfahren und die Möglichkeiten des 3D-Drucks und der additiven Fertigung ermöglichen die Verarbeitung einer breiten Auswahl an Materialien.

Dabei hat die additive Fertigung gegenüber den anderen Fertigungsverfahren

ren einen entscheidenden Vorteil. Durch das Erzeugen von Bauteilen schichtweise lassen sich wesentlich komplexere und ansonsten nur äußerst schwer umsetzbare Geometrien herstellen. Diese für die Fertigung revolutionären Aspekte der Produktion machen den 3D-Druck zu einer vielfältig eingesetzten Technologie, die dabei hilft, innovative Ansätze auf praktisch allen Wirtschaftsgebieten zu verfolgen. Insbesondere bei der Herstellung von Kleinserien und Prototypen ist die additive Fertigung eine unverzichtbare Technologie, die immer mehr Einfluss auf die Pro-

duktion nimmt. Ein wesentlicher Grund für den Siegeszug der additiven Fertigung stellt dabei die große Materialauswahl dar, die stetig wächst.

Eines der Materialien, das neuerdings mittels additiver Fertigung verarbeitet werden kann, ist die Kupferlegierung CuNi2SiCr. Diese wird, wie auch unterschiedliche Stahl- oder Titanlegierungen, mithilfe des direkten Metall-Lasersintern (DMLS) verarbeitet. Dabei liegt der Rohstoff, in diesem Fall die Kupferlegierung, in Pulverform vor. Im ersten Schritt wird auf einer Bauplattform eine dünne Schicht des Pulvers aufgetragen und durch einen Laserstrahl an bestimmten Stellen verfestigt.

Nach einem Absenken der Bauplattform und einer neu aufgetragenen Schicht des Kupferpulvers wird der Prozess von Neuem durchgeführt. Stützstrukturen, wie man sie von einigen anderen 3D-Druckverfahren kennt, sind auch bei DMLS nötig, damit die im Prozess entstehende Wärme aufgenommen und abgeleitet werden kann. Diese Stützen werden im Zuge der Nachbearbeitung entfernt.

Im Gegensatz zur Verarbeitung von Kupfer durch assyrische Kunstschmiede oder durch CNC-Fräsen, lassen sich mittels der additiven Fertigung weitaus anspruchsvollere Strukturen aus dem vielseitigen Material herstellen. Insbesondere komplexe Geometrien und besonders feine

Details lassen sich durch DMLS mit Kupfer erzeugen.

So verfügen Kupferteile aus der additiven Fertigung über eine Wandstärke von einem Millimeter, bei erhabenen und vertieften Details ist bereits ein Mindestmaß von 0,5 Millimetern ausreichend. Eine einzelne Schicht der Bauteile aus dem 3D-Drucker beträgt 20 Mikrometer, also ein Viertel der Dicke eines normalen Blattes Papiers. In den 3D-Druckern von Protolabs, einem Anbieter von verschiedenen Fertigungsverfahren und Experten auf dem Gebiet 3D-Druck, lassen sich Kupferteile bei diesem Fertigungsverfahren in einem Bauraum von 100x100x100 Millimetern Größe drucken.

Neue Freiheiten und alte Eigenschaften

Dass die Teile aus dem 3D-Drucker stammen, ändert bei der Produktion von Gegenständen aus Kupfer nichts an ihren physikalischen Werten. Die Eigenschaften der Kupferlegierung werden beim Verarbeitungsprozess durch DMLS nicht verändert, und der Rohstoff behält seine hohe thermische sowie seine elektrische Leitfähigkeit. Zudem bringt CuNi2SiCr gute mechanische Eigenschaften mit sich. Da durch die additive Fertigung jedoch ganz andere Geometrien ermöglicht werden, lassen sich Teile aus der Fertigung mit DMLS

auch dort anwenden, wo bislang noch auf teure Spezialteile zurückgegriffen werden musste.

Besonders für den Einsatz in rauen Umgebungen ist CuNi2SiCr bestens geeignet und hält auch noch Stand, wenn reines Kupfer bereits an seine Belastungsgrenzen kommt. Dabei kann das Material durch seine physikalischen Eigenschaften überall eingesetzt werden, wo man auch sonst Teile aus Kupfer verwenden würde. Insbesondere in der Produktion von Prototypen und bei Kleinserien, also in allen Bereichen, wo es auf eine schnelle Verfügbarkeit von Teilen ankommt, ist die Herstellung von Teilen aus Kupfer mittels DMLS daher eine sinnvolle Ergänzung der Verarbeitung von Kupfer.

Die Einsatzmöglichkeiten von Kupferteilen aus der additiven Fertigung sind so vielfältig wie das Material selbst. Überall wo man auf hohe thermische und elektrische Leitfähigkeit setzen muss, kann auf die Möglichkeit zurückgegriffen werden, komplexe Geometrien herzustellen. Werden hingegen hohe Stückzahlen mit einfacher Geometrie benötigt, können Verfahren wie CNC-Fräsen und Spritzguss nach wie vor sinnvoller sein. ●

Christoph Erhardt
 Manager Additive Manufacturing Metal
 Proto Labs Germany GmbH

Fotos: Protolabs



Mit Hilfe von direktem Metall-Lasersintern kann Kupfer für die additive Fertigung genutzt werden.



3D-Druck mit Kupfer: Prototypen und Kleinserien aus niedriglegiertem Kupfer eröffnen durch 3D-Druck eine neue Welt für Bauteile.

Der Einsatz von 3D-Druck im Ersatzteilbereich

JENS HÄHN UND RALF BAUDER

Der 3D-Druck von Metallteilen bietet bereits vielfältige Chancen, und er wird weiterhin stark wachsen. Die additive Fertigung ist eine große Chance für das Ersatzteilmanagement. Bereits heute lassen sich durch Reverse Engineering und additive Verfahren attraktive Alternativen zu herkömmlichen Produktionsmethoden darstellen. Es handelt sich um eine komplexe Aufgabe, die deutlich über die reine Vermessungstätigkeit hinausgeht und vom Aufwand her teilweise fast an eine Neuentwicklung heranreicht.

Aufgrund der vielen positiven Entwicklungen bei der Maschinenproduktivität durch die Zahl der Lasersysteme und die Grundmaterialien ist zu erwarten, dass die Menge der Anwendungen stark zunimmt und der Ersatzteilbereich seine Rolle als wichtige Stütze des Gesamtmarkts für additive Fertigung ausbauen wird.

Additive Verfahren haben sich in den vergangenen Jahren rasant weiterentwickelt und ihre Serientauglichkeit in vielen Branchen wie Luft- und Raumfahrt, Fahrzeug- und Maschinenbau, Bahntechnik und Medizintechnik unter Beweis gestellt. So ist es naheliegend, diese Verfahren auch für Ersatzteile und andere Langsamdreher einzusetzen.

Insbesondere bei Produkten, die durch geringe Verkaufsmengen bei gleichzeitig hoher Volatilität im Bestellverhalten gekennzeichnet sind, bieten die 3D-Druckverfahren große Vorteile gegenüber herkömmlichen Verfahren: Zum Beispiel lassen sich durch die werkzeuglose Fertigung Rüstzeiten einsparen, was zu deutlich reduzierten Lieferzeiten führt. Produktionen

Fotos: Antares



Bei älteren Ersatzteilen stehen oft keine 3D-Daten zur Verfügung. Dann müssen diese Daten erfasst werden.

lassen sich deutlich besser an die tatsächliche Nachfrage anpassen und sind nicht mehr an (tendenziell zu große) Serienlose gebunden, was zu einer Reduzierung von Beständen führt. Auch die Integration von mehreren Funktionen in einem Bauteil, die Zusammenführung mehrerer (konventioneller) Bauteile zu einem sogenannten Single-Print-Bauteil oder die Umsetzung komplexer Geometrien zur Gewichtsreduzierung und Funktionsverbesserung werden erst durch den 3D-Druck möglich.

Als Materialien steht bereits eine Vielzahl von erprobten Legierungen zur Verfügung; das Spektrum reicht von Aluminium über verschiedene Stähle bis hin zu eher exotischen Materialien wie Titan. Damit lassen sich Bauräume bis zu 800 x 400 x 500 Millimetern realisieren.

Reverse Engineering für Ersatzteile

Die Idee, das additive Verfahren für Ersatzteile einzusetzen, ist also naheliegend. Allerdings gibt es auf dem Weg hierzu einige Herausforderungen zu meistern.

Wenn man über Ersatzteile und Langsamdreher spricht, dann handelt es sich sehr oft um ältere Bauteile, für die keine 3D-Daten zur Verfügung stehen. Auch sind die zugehörigen 2D-Zeichnungen nicht immer auf dem aktuellen Stand, sofern sie überhaupt vorliegen. Eine weitere Frage ist die der Leserlichkeit solcher Zeichnungen, was insofern kritisch ist, wenn es sich um Angaben zu Oberflächengüte oder Passungen handelt. Die Ausgangsbasis ist also in der Regel lückenhaft.

Der erste Schritt hin zu 3D-fähigen Unterlagen ist fast immer die Vermessung durch 3D-Laser-Scanning. Je nach Bauteilgeometrie wird dieser Schritt nicht ausreichend sein, da beispielsweise tiefe Bohrungen und Hohlräume vom Laser-Scanner nur rudimentär erfasst werden.

Ergänzend kommen daher taktile (maschinelle und manuelle) Messverfahren zum Tragen. Im nächsten Schritt wird die im Scan erzeugte 3D-Punktewolke in sogenannte NURBS-Flächen (nicht-uniforme, rationale B-Splines) umgewandelt. Die Ergebnisse der taktilen Messung und die NURBS-Flächen werden zu einem 3D-

Volumenmodell zusammengeführt, das idealerweise parametrisch aufgebaut und somit manipulierbar ist. Dieses 3D-Modell stellt die Ausgangsbasis für die weiteren Arbeiten dar.

Mit der Erzeugung von 3D-Modellen sind diese insbesondere bei technisch-funktionalen Bauteilen in der Regel nicht abgeschlossen. Um aus dem 3D-Bild ein funktionsfähiges und zuverlässiges Ersatzteil zu machen, bedarf es weiterer Konstruktionsarbeit. Teilweise handelt es sich um Berechnungen und Festigkeitsnachweise durch die Finite-Elemente-Methode (FEM); weiterhin müssen Passungen, Toleranzen, Oberflächenbeschaffenheiten und weitere Merkmale definiert werden. Wenn komplexe Baugruppen mit mehreren Einzelteilen für additive Verfahren fit gemacht werden, kommen weitere Entwicklungsschritte hinzu. Die genaue Kenntnis bezüglich der späteren Verwendung sowie der zu erwartenden Lastzustände ist eine wichtige Kompetenz der ausführenden Ingenieure.

Auf das Teilespektrum kommt es an

Naturgemäß hängen die Einsatzmöglichkeiten der additiven Verfahren stark vom jeweiligen Teilespektrum ab. Während klassische CNC-Teile oder Blechbiegeteile ohne weitere Bauteiloptimierung aus wirtschaftlichen Gründen in der Regel ungeeignet sein dürften, stellen komplexe Gussteile sehr gute Kandidaten für die Optimierung dar. Das gilt insbesondere, wenn Werkzeuge verschlissen sind oder die benötigten Mengen deutlich unter den für Gussverfahren sinnvollen Losgrößen liegen.

Einschränkungen und Grenzen

Jedoch gelten insbesondere im Ersatzteilerbereich einige Einschränkungen. Aus Akzeptanzgründen besteht beispielsweise in der Regel die Kundenforderung, dass die Geometrie des nachgefertigten Bauteils mit der des Originalteils übereinstimmen muss. Es soll sich also um eine Eins-zu-Eins-Kopie handeln. Damit lassen sich jedoch Vorteile additiver Verfahren nicht oder nur eingeschränkt umsetzen, da zum



Wenn komplexe Baugruppen in additiver Fertigung hergestellt werden, dann ist auch die Erfahrung der Ingenieure gefragt.

Beispiel topologische Optimierungen zur Gewichtsreduzierung zu einem deutlich abweichenden Aussehen führen und damit am Markt teils auf Ablehnung stoßen, obwohl die Funktionalität vollständig gegeben ist.

Die rechtlichen Aspekte und insbesondere die Frage der Produktfreigabe sind nicht zu vernachlässigen, da der Inverkehrbringer der Produkthaftung unterliegt. Ein unautorisierte Nachbau von Ersatzteilen ohne Einbindung des Originalherstellers ist daher nicht zu empfehlen.

Die Einschränkung der Gestaltungsfreiheit und die Forderung nach einer exakten Kopie erweisen sich an dieser Stelle durchaus als Vorteil. Bei sachgerechter Ausführung der Konstruktion und richtiger Materialwahl darf man dann beruhigt davon ausgehen, dass das Ersatzteil mit Hilfe des 3D-Drucks den Anforderungen der Praxis genauso gut standhält wie die Vorlage. In vielen Festigkeitsversuchen haben 3D-Druckteile sogar besser abschnitten als entsprechende Teile beispielsweise aus Druckguss. Die additiven Verfahren führen zu einer gleichmäßigen Gefügestruktur, während Schwindungsprobleme und Lunker in der Regel entfallen. ●

Jens Hähn
Ralf Bauder
Geschäftsführende Gesellschafter
Antares Life Cycle Solutions GmbH

3D-MESSTECHNIK

Creaform

Der Anbieter tragbarer und automatisierter 3D-Messlösungen Creaform hat die tragbaren 3D-Scanner-Generationen Handyscan Black und Go!Scan Spark für die additive Fertigungsindustrie entwickelt. 3D-Scanning und additive Fertigung tragen dazu bei, Konstruktionsprozesse zu verkürzen und kostengünstiger zu gestalten. Das 3D-Scannen ermöglicht den Entwurf von Objekten mit organischen Formen und einer spezifischen Signatur, die nicht einfach modelliert werden kann. Die additive Fertigung ermöglicht die Fertigung von Bauteilen, die bisher nicht herstellbar waren. Das 3D-Scannen und die additive Fertigung tragen im Design-Prozess dazu bei, Zeit und Geld zu sparen. Die Zahl der Iterationen, um das Endprodukt mit den richtigen Abmessungen zu erhalten, wird drastisch reduziert. Daher bieten 3D-Scannen und additive Fertigung den Brückenschlag in und aus der digitalen Welt. Alle weiteren Produktionsschritte können exportiert, dokumentiert, modifiziert, bestätigt und wieder in CAD importiert werden.

creaform3d.com



PHOTOPOLYMERE

Cubicure

Eine strategische Forschungs Kooperation im Bereich von Polyesterharzen für die additive Fertigung haben Cubicure und Evonik Industries bekanntgegeben. Inhalt des gemeinsamen Projekts ist die Entwicklung und Herstellung eines innovativen 1K-Harzsystems für die Hot Lithography Technologie. Das gemeinsame Entwicklungsprojekt von Cubicure und Evonik fokussiert auf hochviskose Polyesterharze, die erstmals durch die speziellen Möglichkeiten der Hot-Lithography-Technologie verarbeitbar werden. Mit Hot Lithography bietet Cubicure ein in der additiven Fertigungsindustrie einzigartiges Herstellungsverfahren. Der beheizte Stereolithographieprozess (SLA) ermöglicht die Verarbeitung von hochmolekularen und dadurch zähflüssigen Harzen. Damit wird das chemische Prozessfenster für die Entwicklung von innovativen Polymerwerkstoffen gegenüber bisherigen SLA-Verfahren wesentlich erweitert und das Potenzial für völlig neue Materialkonzepte im Bereich der Photopolymere geschaffen. Damit sind Anwendungen möglich, wie sie bisher zum Beispiel aus der TPC-Verarbeitung mittels Spritzguss (Dichtungen, Durchführungen, Dämpfer, Schockabsorber, Schutzhüllen, Schuhsohlen, Protektoren oder Griffe) bekannt sind.

www.cubicure.com



3D-PRINTING

FKM Sintertechnik

Dank der Entwicklung einer neuen Finishing-Technologie kann FKM Sintertechnik die Oberflächen von Kunststoffformteilen aus dem 3D-Printing veredeln. Das vollautomatisierte Verfahren trägt den Namen FKM Smooth und zielt primär auf das homogene Glätten und Versiegeln ab. Da es sich sehr genau steuern lässt, kann es auch für die Realisierung anderer Oberflächenqualitäten genutzt werden. Grundsätzlich eignet sich das Verfahren für alle gängigen Lasersinterpolymerwerkstoffe, kleine und große Bauteile sowie Außen- und Innenflächen.

FKM betreibt die Finishing-Technologie vollautomatisiert in eigens dafür entwickelten Anlagen in seiner Lasersinterfabrik im oberhessischen Biedenkopf. In den Prozesskammern lassen sich Bauteile bis zu 700 x 380 x 580 Millimetern behandeln.

www.fkm-sintertechnik.de

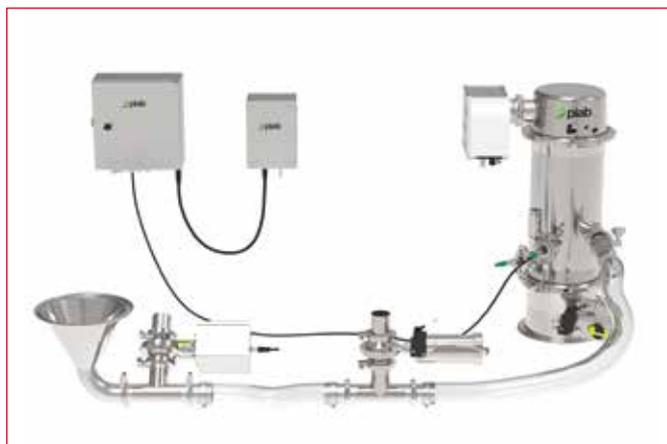


VAKUUMFÖRDERER

Piab

Sicheres und smartes Pulver-Handling für die additive Fertigung: Mit Piab Piflow p Smart Vakuumförderern lässt sich das Produktionspulver in der benötigten Menge zu den 3D-Druck-Anlagen bringen – ohne Feinstaubbelastung für die Mitarbeiter. Dank der selbstlernenden Funktionen des Systems sind keine langwierigen Einstellungen und Tests erforderlich. Beim Schutz von Personen, dem Produkt selber wie auch der Umgebung kann der Einsatz von Vakuumfördertechnologie Abhilfe schaffen. Filter im Vakuumförderer sowie zusätzliche Abluftfilter an der Vakuumpumpe verhindern, dass Feinstaub aus dem System in den Arbeitsraum eintritt und dass Mitarbeiter mit diesen Stoffen in Berührung kommen. Ausgestattet mit fortschrittlicher Sensortechnologie wird der Durchsatz im Vergleich zu herkömmlichen Fördersystemen um maximal 50 Prozent gesteigert. Das System erkennt und verhindert auch ein Überfüllen bzw. ein Entleeren des Behälters. Auf diese Weise kann das gesamte Füllvolumen des Behälters genutzt werden, was den Materialdurchsatz optimiert.

www.piab.com

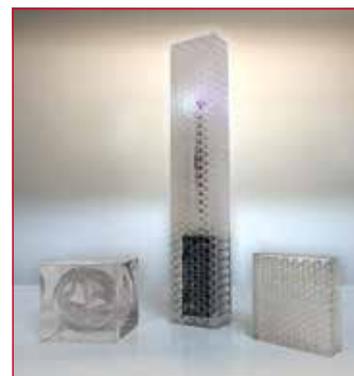


ADDITIVE FERTIGUNG

BASF und Paxis LLC

BASF und Paxis LLC treiben den 3D-Druck gemeinsam voran. BASF 3D Printing Solutions wird Paxis mit innovativen additiven Fertigungsmaterialien ausstatten. Die WAV-Technologie („Wave Applied Voxel“) befindet sich derzeit ebenso in der Entwicklung wie die Materialien dafür. Der WAV-Prozess wurde aus der Perspektive von Endnutzern entwickelt, um Probleme mit eingeschlossenem Volumen innerhalb der auf flüssigem Harz basierenden Technologien zu lösen. „Die BASF-Photopolymermaterialien der Produktreihe Ultracur3D ST passen durch ihre zähe Materialeigenschaft besonders gut zu der WAV-Technologie“, erklärt Arnaud Guedou, Leiter der Photopolymerlösungen von BASF 3D Printing Solutions. WAV ist in der X-, Y- und Z-Achse vollständig skalierbar und ermöglicht die Herstellung extrem großer Teile oder größere Mengen kleiner Teile. Weiterhin können mehrere Materialien mit unterschiedlicher Viskosität innerhalb desselben Bauteils verwendet werden.

www.paxis.com



SOFTWARE

Imos

Imos stellt die Software-Version iX 2019 vor und baut mit dem neuen Serviceportal iX Support Center die Unterstützung der Kunden aus. Die deutschsprachige Version ist bereits bei Anwendern im Einsatz. Die intuitive Raumplanung profitiert von intelligenten Langteilen, die miteinander agieren können. Automatisches Snapping erleichtert das Einfügen von Artikeln und vereinfacht die Artikelplanung. Szenen lassen sich nicht nur leichter erstellen, sondern ermöglichen auch die isolierte Darstellung und Präsentation von Möbel-Arrangements. Möbel konstruieren wird komfortabler. Neben einem modernen User Interface wurden wesentliche Bedienelemente grundsätzlich überarbeitet. Die Softwaremodule der neuen Generation lassen sich als Stand-alone-Applikationen verwenden oder auch zu vernetzten Lösungen ausbauen. iX Interio, das erste Ecosystem für Möbelhersteller und Innenausbaubetriebe, lässt völlig neue digitale Kooperationsformen entstehen.

www.imos3d.com



Pulverbeschichtung 4.0: Wie Augmented Reality die Arbeit in der Maschinenhalle erleichtert

FRANK LAMPE

Unter „Augmented Reality“ (AR) versteht man die sogenannte Erweiterung der Realität. Konkret bedeutet dies, dass über Wearables (tragbare, mobile Computer) wie Datenbrillen zusätzliche, relevante Informationen in das Sichtfeld des Trägers eingeblendet werden. Nutzer sehen die Zusatzinhalte auf einem Display vor den Augen eingeblendet, sind jedoch gleichzeitig in der Lage, ihre Umwelt wahrzunehmen.

Der Digitalisierungsdruck in der Produktion steigt. Immer mehr Firmen erkennen deshalb den Wert neuer Technologien. Eine Umfrage des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter 1021 Unternehmen der deutschen Wirtschaft ergab, dass 85 Prozent der Befragten von der Wichtigkeit zur Digitalisierung überzeugt sind. Sie sehen in der Digitalisierung vor allem die Chancen, Fehlerquoten zu verringern, Zeit und Kosten zu sparen, größere Genauigkeiten zu erreichen und den Schutz von Arbeitnehmern zu verbessern. Eine große Hilfe, um diese Ziele zu erreichen, stellen Datenbrillen mit Augmented-Reality-Anwendungen dar.

Insbesondere in der Produktion bieten Datenbrillen mit AR-Unterstützung zahl-

reiche Vorteile. So sind beim Einsatz von Datenbrillen im Gegensatz zum Gebrauch anderer Technik wie Laptops oder Tablets beide Hände frei. Arbeiter können Tätigkeiten wie die Wartung einer Maschine freihändig absolvieren.

Hinweise werden im Sichtfeld des Arbeiters eingeblendet, sodass er seine Aufmerksamkeit nicht mehr auf ein Tablet oder einen Laptop richten muss. Dies führt zu einer gesteigerten Arbeitnehmersicherheit, da die Aufmerksamkeit des Arbeitnehmers immer auf die vor ihm liegende Aufgabe gerichtet ist und nicht abgelenkt wird.

Zudem helfen Datenbrillen dank schnellerer Trainings und standardisierter Wartungslisten, die Effizienz zu steigern, Feh-

lerraten zu senken und somit Kosten zu sparen. Standortübergreifende Remote Support Calls beziehungsweise Experten-calls per Datenbrille ermöglichen es Arbeitern, komplizierte Wartungen schnell und sicher mithilfe eines Experten durchzuführen. Dieser sieht genau die Dinge, die im Sichtfeld des Arbeiters liegen und kann ihm genaue Anweisungen geben sowie Zeichnungen und grafische Hilfen direkt auf die Brille vermitteln. Dies erhöht nicht nur die Mitarbeiterzufriedenheit, sondern senkt auch Reisekosten und erhöht die Effizienz, da Unternehmen nicht mehr lange auf Reparaturen oder Expertenmeinungen warten müssen.

Die einfache Protokollierung von Wartungen durch Sprachbefehle sowie das

Anstelle von Listen auf Papier übernimmt die Datenbrille die Protokollierung.



Fotos: Ubimax



Die Sicht durch die Brille erweitert die Informationen des Werkers. Die Brille unterstützt in der Kommissionierung bei der Fertigung.

Erstellen und sicheren Speichern von Bildern und Videos führen zudem zu einer weiteren Effizienzsteigerung. Es werden keine Listen auf Papier mehr benötigt. Protokolle können sofort rechtssicher angelegt und gespeichert werden.

AR in der Pulverlackbeschichtung

Ein großer, international tätiger deutscher Landmaschinenhersteller führte AR-Datenbrillen in der Pulverbeschichtungsanlage ein. Teile, die beschichtet werden sollten, mussten vorher von den Mitarbeitern in die Hängerechen gehängt, anschließend manuell gezählt und ins System eingetragen werden. Diese Methode war sehr aufwändig und fehleranfällig und führte dazu, dass häufig falsche Angaben im System landeten. Dies führte wiederum zu Problemen unter anderem durch falsche Liefermengen, fehlerhafte Versandpapiere oder falsche Farben bei der Beschichtung.

Der Landmaschinenhersteller reagierte und führte die Lösungen Ubimax xPick mit den Datenbrillen Glass Enterprise Edi-

tion und Vuzix M300 sowie dem Hyco 562 Wrist Computer ein. So können nun bereits beim Teileingang der dazugehörige Auftrag und die Stückzahl gescannt und visualisiert werden. Programmnummer und Farbe werden regelbasierend auf Widersprüche überprüft, um eventuelle Fehler wie die Mischung zweier Farben in einem Lackiervorgang zu verhindern. Zusätzlich werden die Mengenangaben per Schnittstelle an das ERP-System übergeben.

Der Einsatz der Technik hat sich gelohnt: Durch die digitale Erfassung der Aufträge ist eine Verfolgung der Teile im Prozess möglich und Engpässe werden schneller erkannt. Zudem sind durch die Überprüfung der Anzahl der Teilnummern im Hängerechen die Stückzahlen der gelieferten Teile korrekt. Auch Lackierungen in falschen Farben gehören aufgrund der Überprüfung der Vergangenheit an. Die gestiegene Qualität führt zu weniger Nacharbeiten und somit auch zu zufriedenen Mitarbeitern. Durch die stimmige Anzahl ausgelieferter Teile passen die Versandpapiere zur Ladung, und es gibt keine

unnötige oder aufwändige Suche nach Fehlmengen oder Lieferungen, die gar nicht existieren.

Datenbrillen mit Augmented-Reality-Unterstützung bieten produzierenden Unternehmen vielfältige Einsatzmöglichkeiten. Sie werden bereits von einer Reihe von Unternehmen genutzt, um Werkern freihändiges Arbeiten zu ermöglichen und Anweisungen direkt in ihrem Sichtfeld wahrzunehmen. Dadurch erhöht sich die Arbeitssicherheit.

Zudem sorgen die Datenbrillen dank automatisierter oder teilautomatisierter Protokollierung, jederzeit Experten per Videocall hinzuzuziehen. Die automatische Qualitätskontrolle sorgt bei regelhaften Arbeitsschritten für eine Effizienzsteigerung und Kostensenkung. Dank neuer Leihmodelle (Pay as you go) müssen Unternehmen keine eigenen Datenbrillen mehr anschaffen, sondern können diese inklusive der benötigten Software und erforderlicher Services mieten. Auch dies kann sich positiv auf die Kostennutzenbilanz auswirken. ●

Frank Lampe
SVP Marketing
Ubimax GmbH



Die Teile im Hängerechen wurden früher manuell erfasst. Mit Unterstützung der Datenbrille ist eine zuverlässige Lösung entstanden.

Augmented-Reality-Inspektion durch exakte Registrierung von CAD-Modell und Kamerabild

ULI BOCKHOLT UND HOLGER GRAF

Augmented-Reality-Inspektionssysteme werden längst routinemäßig von Prüfengeuren in der Automobilindustrie eingesetzt, und finden auch in Qualitätssicherungssystemen an der Produktionslinie Einsatz. Sie sollen fortwährend verifizieren, dass eine Baugruppe exakt so gefertigt ist, wie es in den CAD-Daten spezifiziert ist. Die Technologien basieren auf einem Computer-Vision-Trackingsystem. Dabei werden sowohl mobile als auch stationäre Augmented-Reality-Systeme eingesetzt.

Fotos: Fraunhofer IGD



In der AR-Visualisierung werden reale Bauteile durch digitale Modelle überlagert, um Soll-Ist-Abweichungen zu identifizieren.

Mobile Inspektionssysteme werden auf der Grundlage aktueller Smartphone- und Tabletsysteme umgesetzt. Neben hochqualitativen Kameras enthalten diese Systeme Inertial- und Kompassensoren, über die die Kamerapose (Position und Orientierung) erfasst wird. AR-Trackingbibliotheken stellen sogenannte SLAM- (Simultaneous Localisation and Mapping) Verfahren zur Verfügung, über die die Kamerapose in einer statischen Umgebung verfolgt werden kann. Diese Technologien sind weit fortgeschritten, sie sind jedoch für Konsumanwendungen konzipiert und aus einigen Gründen für die Anwendung in AR-Inspektionssystemen nicht geeignet.

- Die Kamerapose kann nur in einer statischen Situation getrackt werden, für dynamische Umgebungen (zum Beispiel Tracking an einer Produktionslinie, die Baugruppen auf einer Förderlinie transportiert) sind die SLAM-Verfahren nicht geeignet.
- Die initiale Registrierung, bei der das Koordinatensystem von digitaler und realer Welt zueinander registriert wird, geschieht über eine Nutzerinteraktion. Die Genauigkeit ist somit stark vom Nutzergeschick abhängig.
- Die Verfahren driften, wobei sich die Abweichung in weitläufigen Umgebungen und bei schnellen Kamerabewegungen stark akkumuliert.

Vor diesem Hintergrund sind die modellbasierenden AR-Trackingverfahren relevant. Hier werden in Echtzeit Konturmodelle der 3D-Modelle gerendert. Sie werden zu Kantendeskriptoren korreliert, um wiederum auf das Kamerabild angewandt zu werden. Die Kontur des 3D-Modells wird immer exakt auf die im Kamerabild erkannte Kontur geschoben.

Aufgrund dieses permanenten Abgleichs zwischen 3D-Modell und Kamerabild driftet das Verfahren nicht. Dadurch können Objekte, von denen ein 3D-Modell verfügbar ist, im Kamerabild getrackt werden, auch wenn sich die Objekte bewegen. Eine exakte Registrierung von CAD-Welt zum 3D-Objekt, das mit der Kamera erfasst

wird, kann somit gewährleistet werden. Im mobilen Augmented-Reality-Inspektionssystem nimmt der Prüfenieur mit der Tabletkamera das Prüfobjekt auf. In der AR-Visualisierung erkennt er, ob digitale Modelle und reale Objekte exakt übereinanderliegen. Abweichungen zwischen Modell und Objekt werden im Screenshot dokumentiert und im AR-Prüfprotokoll festgehalten.

Stationäre Augmented-Reality-Systeme

Während bei der Nutzung des mobilen AR-Systems die Kamera durch den Nutzer geführt werden muss, um Soll-Ist-Abweichungen zu identifizieren, können Computer Vision basierende Qualitätsprüfungen komplett automatisiert werden, wenn die Prüfkameras um eine Produktionslinie

herum aufgebaut sind. Solche vollständig automatisierten Prüfungen werden in der Automobilfertigung eingesetzt. Dort zeichnen Prüfkameras die zu montierenden Bauteile auf, die auf einen Mechanisierungsrahmen aufgesetzt und über das Band transportiert werden.

Etablierte Prüfsysteme setzen dabei häufig Referenzbilder ein, die von den Prüfkameras erfasst werden. Diese bildbasierenden Prüfverfahren sind allerdings häufig sehr unflexibel, weil zu jeder Variante, die gefertigt wird, eine große Menge an Referenzbildern aufgezeichnet werden muss, die über eine Nutzerinteraktion als „in Ordnung/IO“ oder „nicht in Ordnung/NIO“ klassifiziert werden. Wenn die Prüfung über das CAD-basierende Objekttracking realisiert wird, fällt dieser Aufwand weg, weil zur im Kamerabild erfassten Variante der zugehörige CAD-Datensatz

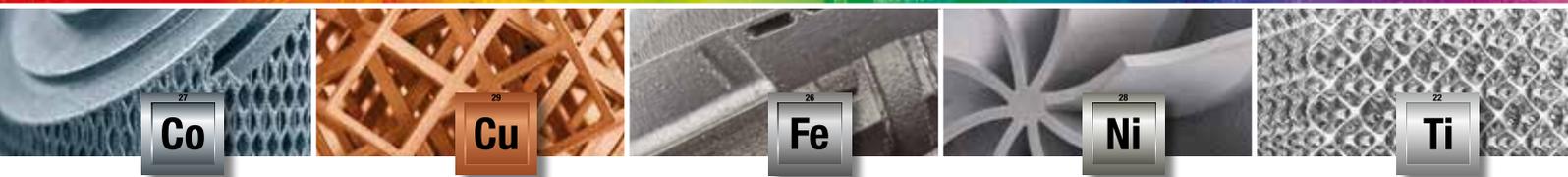
registriert wird, ohne dass Referenzbilder erfasst werden müssen.

Für die vollständig automatisierte Qualitätskontrolle wird überprüft, ob die Pose des getrackten Prüfteils in Relation zum getrackten Referenzteil (zum Beispiel in Relation zum Mechanisierungsrahmen) der CAD-Spezifikation entspricht. Damit können die Punkte „ist das Prüfteil exakt platziert?“, „fehlt ein Bauteil“ oder „ist das richtige Teil verbaut?“ zuverlässig abgeprüft werden.

.....
*Uli Bockholt
 Business Development Manager
 Visometry GmbH*

.....
*Holger Graf
 Abteilungsleiter Virtuelle
 und Erweiterte Realität
 Fraunhofer Institut
 für Graphische Datenverarbeitung (IGD)*

Make the future with proven powders created by Praxair



TruForm™ metal powders support every part you make with capacity, quality and experience.

- Used by leading OEMs across AM industry
- Custom alloys and particle sizing available
- Aerospace-grade



In 2018, **Praxair created over 200 new custom alloys** for customer applications.

Learn more: praxairsurfacetechologies.com/am
Contact us: Praxair Surface Technologies GmbH
 Am Mühlbach 13, 87487 Wiggensbach
 Germany
 Tel: +49 (0) 837 0 9207 0
 Fax: +49 (0) 837 0 9207 20
 Email: AME_Europe@praxair.com



Digitale Power für den Schaltschrankbau

THOMAS WALKER

In der Elektrokonstruktion und im Schaltschrankbau unterliegt jeder Arbeitsschritt einem straffen Zeitfenster und erfordert umsichtige Planung sowie eng verzahnte Prozesse. Die durchgängige Digitalisierung der Abläufe unterstützt und automatisiert das Elektro-Engineering in allen Projektphasen vom schnellen Entwurf bis zum komplexen Anlagen-aufbau. Maßgeschneiderte Werkzeuge bieten mit einheitlichen und wiederverwendbaren Projektvorlagen massive Effizienzsteigerungen für den Maschinen- und Anlagenbau. Eine App schließt den digitalen Kreis von der Entwicklung bis zur Instandhaltung.



Fotos: WSCAD

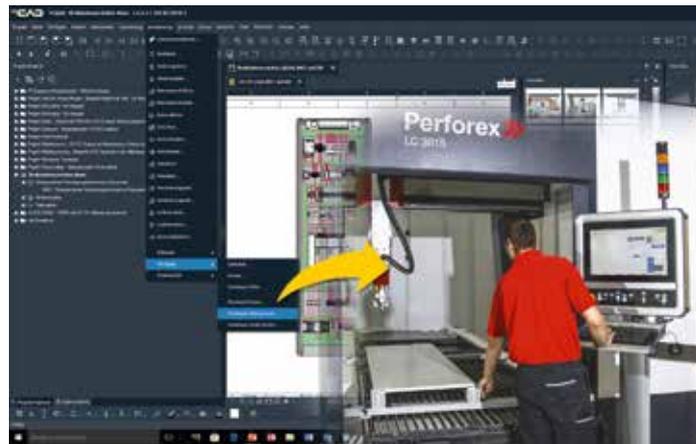
Die im Schaltschrank verbauten Komponenten sind über den QR-Code sofort abrufbar. Alle zum Bauteil gehörenden Informationen lassen sich damit ebenfalls nutzen.

Aktuelle Daten immer und am richtigen Ort: Dabei hilft Augmented Reality (AR). Bestandteil der E-CAD-Lösung von WSCAD ist die AR-App. Techniker und Instandhalter unterstützt sie speziell bei der Wartung und Verdrahtung von Schaltschränken. Wer wissen möchte, welche Komponenten in einem Schaltschrank verbaut sind, scannt mit der Kamera eines mobilen Endgerätes den QR-

Code und kann sofort alle zum Bauteil gehörenden Informationen abrufen: Dazu gehören Bauteilinformationen inklusive Referenzkennzeichen (BMK), Funktionstexte, die Position in den elektrotechnischen Plänen, 3D-Ansichten der Komponenten mit Drehen, Vergrößern oder Verkleinern, die vollständigen Artikeldaten, Hersteller und Artikelnummer, der Zugriff auf aktuelle Originaldatenblätter der Hersteller und das

Anfordern von Ersatzteilen oder Einfügen von Notizen zum Bauteil in die Dokumentation. Stichwort: aktuelle Daten durch den digitalen Zwilling (Digital Twin). Das Ergebnis sind zuverlässige und schnelle Wartungs- und Reparaturarbeiten und ein Plus bei Effizienz und Servicequalität.

Ebenfalls Bestandteil der App ist die Funktion zur Verdrahtung von Schaltschränken. Die Verbindungsdaten kommen über die



Die durchgängige Digitalisierung der Abläufe unterstützt und automatisiert das Elektro-Engineering in allen Projektphasen.



Die AR-App unterstützt Instandhalter bei der Wartung und Verdrahtung von Schaltschränken.

Routing-Funktion aus dem Schaltschrankaufbau. Jede Verbindung beziehungsweise jeder Draht ist eine Zeile. Zu sehen sind Quelle und Ziel, Querschnitt, Bezeichnung und Farbe des Drahtes. Der Installateur vor Ort hakt die bereits installierten Verbindungen in der App ab. Die Verdrahtungstabelle kann als PDF-Datei gespeichert und wieder aufgerufen werden. Sie zeigt an, welche Verbindungen erledigt

sind und welche noch zu verdrahten sind. Somit hat man nach der Pause, Schichtwechsel oder am nächsten Tag schnell wieder den Überblick, wo man stehen geblieben war. Weil zusätzlich Filterfunktionen gesetzt werden können, ist die Auswertung schneller und wesentlich komfortabler als das bisher gewohnte Abhaken auf Papierlisten und entsprechenden Stromlaufplänen.

Der Vorteil der durchgängigen Electrical-Engineering-Lösung sind konsistente Projektdaten für jeden Prozessabschnitt. Das beginnt bei der Erstellung von Stromlaufplänen. Elektrotechniker arbeiten mit Hilfe von Symbolen und Artikeldaten. Sie benötigen Klemmenpläne, Material- und Verbindungslisten sowie normenkonforme Dokumentationen. Viele Vorlagen auf Basis von Artikelstammdaten, genormten Symbolen und einheitlichem Bezeichnungssystem sind in der WSCAD-Lösung bereits vorhanden.

Aus den Planungselementen baut der Project Wizard automatisch fertige Schaltungsentwürfe, die sich abspeichern und für weitere Projekte abrufen lassen. Die einmal erfassten Datenpunkte stehen projektübergreifend zur Verfügung. Wer eigene Schaltplanmakros und Artikeldaten erstellen möchte, kann das selbst erledigen oder auf Serviceangebote zugreifen.

Makros beschleunigen den Schaltschrankaufbau, die Platzierung von Komponenten erfolgt zehntelmillimetergenau. Grundlage sind zuvor erstellte Stromlaufpläne. Pläne aus anderen E-CAD-Systemen können über einen Wizard eingelesen wer-

den. Auch ein Schrankaufbau ohne Stromlaufplan ist möglich. Kurzfristige Änderungen in der Konfiguration werden in allen nachfolgenden Plänen automatisch übernommen. Ein Klemmentausch beispielsweise wird projektweit vollzogen. Das bedeutet Flexibilität ohne kostspieligen Mehraufwand bei kurzfristigen Planänderungen. Stücklisten für den Cabinet-Aufbau lassen sich vollautomatisch generieren und Baugruppen über ERP- oder PLM-Systeme mit den Daten aus dem mechanischen CAD-Bereich oder Einkauf abgleichen.

Die Software übernimmt das optimale Routen der Verbindungen und die Berechnung der Drahtlängen. Alle erzeugten Daten stehen sofort für die Fertigung zur Verfügung: Labeldruck, Fertigung von Drähten und Drahtsätzen sowie Montageplatten und Schrankgehäusen auf NC-Maschinen namhafter Hersteller. Die Schnittstellen sind Bestandteil der Software, zusätzliche Lizenzkosten entstehen nicht mehr. Auch ein zusätzliches CAD-Programm für die mechanische Fertigung wird nicht mehr benötigt. Fotorealistische 3D-Darstellungen ergeben ansprechende Bilder, durch die Nutzung nativer 3D-Daten erkennen Konstrukteure mögliche Kollisionen auf Grundlage tatsächlicher Bauteilabmessungen. ●

Thomas Walker
Redakteur
Walkerbretting GmbH
für WSCAD GmbH

Augmented-Reality-Headsets für digitale Geschäftsmodelle

MARTIN PLUTZ

Der Markt für Augmented-Reality-Headsets, Datenbrillen oder auch als Smart Glasses bezeichneten Geräte hat in den vergangenen drei Jahren eine Achterbahnfahrt durchgemacht. Erste Anbieter verschwanden wieder vom Markt, weil die entwickelten Geräte nicht industrietauglich sind, an der Akzeptanz der Nutzer scheitern oder zu teuer sind, um im Konsumentenmarkt eine schnelle und hohe Durchdringung zu erzielen.

Der Gartner Hype Cycle ist ein gutes Modell, an dem sich diese Entwicklung spiegelt. Das von dem amerikanischen Beratungsunternehmen Gartner entwickelte Instrument analysiert jährlich innovative Technologien hinsichtlich der

durch sie geschürten Erwartungen. Für das Jahr 2018 haben die Technologien Augmented Reality (AR) und Mixed Reality (MR) den Hochpunkt der Erwartungen bereits überschritten und befinden sich im sogenannten Tal der Tränen.

Die hohen Erwartungen werden oft geschürt durch ein zu gut gemeintes Marketing der Technologieanbieter. Sie suggerieren Use Cases, die durch die technischen und organisatorischen Randbedingungen der Technologie bereits ausgeschlossen oder nicht mehr praktikabel sind.

Ein Prototyp zur Kommissionierung über Pick-by-Vision nutzte folgendes Modell: Ein Lagerfacharbeiter erhält visuell überlagerte Informationen über die Position eines Lagerfachs im Rahmen eines bestimmten Kommissionierauftrags. Damit sollen Fehler reduziert und manuelle Logistikprozesse beschleunigt werden. Die Herausforderungen bei der Umsetzung dieser Vision sind jedoch vielfältig und das Beispiel verdeutlicht, wo die Limitierungen in diesem Szenario liegen.

Typischerweise sind Mitarbeiter in der Kommissionierung täglich acht Stunden damit beschäftigt, Aufträge zusammenzustellen und Gegenstände aus Lagerfächern zu entnehmen. Bei der Umsetzung der Vision würden die Mitarbeiter also mit einer neuen Technologie konfrontiert, die für die gesamte Dauer der Schicht genutzt wird. Daraus ergeben sich hohe Anforderungen an die verwendete Art der Datenbrille.

Höchster Tragekomfort ist für die Nutzerakzeptanz entscheidend. Daran scheitern bereits die allermeisten Anbieter von AR-Headsets. Nur die Google Glass Enterprise ist so leicht und komfortabel zu tragen, dass Sie für das Kommissionieren eingesetzt werden kann. Leider ist der eingebaute Prozessor nicht leistungsstark

Fotos: RealWare



Ein großer Vorteil der Datenbrille sind die freien Hände beim Arbeiten.

genug, um ein Tracking von 2D-Codes zu ermöglichen, die an Lagerfächern angebracht sind.

Lösungsanbieter, die diese Hardware dennoch einsetzen, verwenden in der Regel aus Ergonomie- und Effizienzgründen auch zum einfachen Scannen von Barcodes oder QR-Codes einen Hand- oder Ringscanner, der per Bluetooth mit der Datenbrille verbunden ist. Damit degeneriert die Datenbrille in diesem Szenario zu einem reinen Anzeigegerät für die statische Darstellung zu kommissionierender Mengen und Einheiten.

Akute Hilfe aus der Ferne

Gewichtige Gründe haben Oculavis dazu bewegt, sich schnell von diesem Anwendungsgebiet im Bereich der Logistik zu verabschieden, zumal die erzielbaren Effizienzgewinne nicht allzu hoch sind. Bereits einige Monate nach der Ausgründung aus dem Aachener Fraunhofer IPT heraus fokussierte sich das Unternehmen auf eine einzige Anwendung für Remote Support Services für Maschinenbauer und Anlagenbetreiber, die durch das Lösen technischer Probleme aus der Ferne einen effektiven Business Case ermöglicht.

Neben der Reduktion von Reisekosten der Servicetechniker und damit einhergehenden CO₂-Einsparungen wird insbesondere der deutsche Maschinen- und Anlagenbau befähigt, digitale Geschäftsmodelle im Service zu etablieren. Für diesen Use Case setzt sich immer stärker die Datenbrille HMT-1 des US-Anbieters Realwear durch, die als erste die drei entscheidenden Kriterien Robustheit, Leistungsfähigkeit und Tragekomfort in einem Gerät vereint.

Die Insolvenzen der Hersteller ODG, Meta (je etwa 70 Millionen US-Dollar Venture Capital) und Daqri (275 Millionen Dollar Venture Capital) zeigen, dass die Anbieter binokularer Datenbrillen Schwierigkeiten haben, am Markt zu bestehen. Verbleibende Anbieter in diesem Segment

wie Epson oder Microsoft sind Unternehmen, die ein längeres finanzielles Durchhaltevermögen haben. Auch das mit 2,6 Milliarden Dollar ausgestattete Unternehmen Magic Leap bleibt mit den Verkaufszahlen der ersten Datenbrille weit hinter den Erwartungen von Investoren und Nutzern zurück.

Insbesondere für den Remote Support Use Case stellt sich immer mehr heraus, dass die Datenbrille nur eines der möglichen Endgeräte ist, das letztlich im händerefreien Arbeiten nur einen einzigen Vorteil gegenüber Smartphones und Tablets hat. Der Anspruch muss sein, Software für diesen Use Case endgeräteunabhängig zu entwickeln, was einerseits der Unabhängigkeit von einzelnen Hardwareanbietern geschuldet ist und auch eine ganz praktische Motivation besitzt, nämlich die der Verfügbarkeit von Hardware, wenn man sie für die Wartung einer Maschine aus der Ferne braucht.

Die momentan sehr geringe Marktdurchdringung der Datenbrillen-Technik ist eine Hürde, um auf diese Hardwaretechnologie für Remote Support Use Cases zu setzen. Nur in sehr gezielten Anwendungen wird sie eingesetzt, ist jedoch noch weit davon entfernt, zum täglichen und dauerhaften Begleiter des Arbeitsalltags von Technikern zu werden.

Während Smartphones ihren Weg in die Industrie über eine schnelle und hohe Durchdringung des privaten Bereichs gefunden haben, wird das bei AR-Headsets nach aktuellem Stand nicht der Fall werden. Es scheint eher so zu sein, dass sich im industriellen Bereich eine Nische an Anwendungen für Datenbrillen entwickelt, die dort auch ihre Berechtigung hat, aber der von Hardwareanbietern und Investoren erwartete Massenmarkt bleibt vorerst aus.

*Martin Plutz
Gründer und Geschäftsführer
oculavis GmbH*

* be pro

*SCHNELL WAR UNS NIE SCHNELL GENUG. DESHALB GEHÖREN WIR ALS PIONIER DER DATENANALYSE ZU DEN SPITZENREITERN DER DIGITALEN PRODUKTION UND WISSEN, WANN WIR WIE REAGIEREN MÜSSEN. ALLES ANDERE WÄRE FÜR IHRE PRODUKTION ZU SPÄT.



Unbestechliche Helfer auf der Nase: Die Datenbrille in der Logistik

MATTHIAS ARNHOLD

Schnell soll sie vonstattengehen und fehlerfrei soll sie sein: Die Rede ist von der Kommissionierung, die im intralogistischen Umfeld millionenfacher Picks pro Tag in Deutschland bedarf. Mit der Datenbrille werden die Werker beim zügigen und präzisen Erledigen dieser Aufgabe erheblich gestärkt.

Die Produktpalette des Maschinen- und Anlagenbaus ist vielfältig. Sie reicht von riesigen Kraftmaschinen wie Turbinen in Kraftwerken bis zu Schwing- schnittscheren bei den Werkzeugmaschinen. Eines ist den von Menschenhand gefertigten Erzeugnissen in jedem Fall gemein: Sie bestehen aus mehreren Komponenten, die bis zu ihrem endgültigen

Verbauen auf Freiluftlagerflächen, in großen überdachten Hallen oder, wenn sie von der Form kompakter sind, in Warehouse- s in endlosen Regalreihen vorgehalten werden.

Die Produktionsversorgung für das Fließ- band, die Konsolidierung von Sendungen im Ausgangsbereich des Lagers oder die Warenannahme für die Verteilung auf die

vorgesehenen Stellplätze – die Kommissionierung kann viele Formen annehmen, aber stets gilt: Zeit ist Geld. In den vergangenen Jahren ist ebenso die erfolgreiche Rekrutierung des Personals in der Intralogistik, den sogenannten Werkern, zu einer Herausforderung geworden. Es stellt sich also die Frage, wie das Picken anders gedacht werden kann, um die Vorteile digita-



len Arbeitens in eine effizienzsteigernde Kommissioniertechnik zu überführen.

Pick-by-Vision als Lösung

Antworten fanden Firmen wie das High-Tech-Unternehmen Picavi in der primären Nutzung jenes Sinnesorgans, über das der Mensch mehr als 80 Prozent der täglichen Informationen aufnimmt. Die Rede ist vom Auge.

Aus dieser Herangehensweise entwickelte sich die Pick-by-Vision-Lösung, die die Stärken bestehender Kommissioniersysteme miteinander verband und als zentralen Bestandteil die wenige Jahre zuvor erstmals vorgestellten Datenbrillen für eine intralogistische Nutzung ins Spiel brachte. Ob Glass Enterprise Edition oder Vuzix M300, viele große Unternehmen mit intralogistischem Bedarf senden ihre Werker mit schlaun Brillen in das Lagerumfeld, um dort die unterschiedlichen Tagesaufgaben beim Picken zu absolvieren – und sind überzeugt von dieser Idee.

Die beiden Hauptaspekte für den Einsatz von „Assisted Reality“ in diesem Kontext stellen der Hands-Free-Ansatz und die strikte visuelle Führung des Kommissioniers dar. Kaum etwas hält den Werker mehr auf, als sich neben dem Pickvorgang auch noch mit dem Ablegen und Wiederaufheben des eigenen Kommissionierwerkzeugs beschäftigen zu müssen. Durch den Datenbrilleneinsatz hat er beide Hände allein für seine eigentliche Aufgabe zur Verfügung.

Das User-Interface im Brillendisplay gibt der Lagerfachkraft dafür die entsprechenden Informationen. Hebt er seinen Blick ein wenig, erscheinen auf diesem der exakte Typ und die Anzahl des zu pickenden Produkts sowie im Vorfeld- beziehungsweise im Nachgang die Orte, von denen die Ware geholt und wo sie abgelegt werden muss.

Mit der Pick-by-Vision-Lösung wissen die Werker genau, welche Ware aus dem Regal kommissioniert werden muss.



Fotos: Mika-Fotografie

Das User-Interface im Brillendisplay versorgt den Werker im Lager mit dem nächsten Pick-Auftrag.

Das ist für ihn ergonomisch entlastender und auch von der organisatorischen Abwicklung unkomplizierter als bei der Arbeit mit Papierlisten, Handscannern oder der Pick-by-Voice-Anwendung, da seine Augen als Hauptquelle für die Informationsverarbeitung fungieren sowie die getätigten Scans für sofortige Updates in der Datenbrillen-Software und somit auch in der damit verbundenen Lagerverwaltungssoftware sorgen. So gibt ihm die Technik auch ein Feedback, wenn er zunächst etwas Falsches gepickt hat, und er kann diesen Schritt umgehend korrigieren. Alle diese digitalen Hilfen führen dazu, dass mit der Datenbrille schneller und nahezu fehlerfrei kommissioniert wird.

Schnelle Einarbeitungszeit

Anders als bei Pick-by-Voice und anderen Kommissioniertechniken entfaltet die Datenbrille mit ihrem visuellen Zugang zu dieser Aufgabe auch in einem anderen Kontext ihren Vorteil: beim Thema Einarbeitung, und hier nicht nur, aber vor allem auch jener Mitarbeiter, die mit der Schrift- beziehungsweise gesprochenen Sprache

des Einsatzortes noch nicht zu 100 Prozent vertraut sind.

Die klare Menüführung, die in vielen Sprachen einblendbar ist, die übersichtlichen Symbole für die nächsten Prozessschritte oder bei Bedarf auch Produktbilder im User-Interface lassen die bei anderen Systemen veranschlagten hohen Zeiträume für das Erlernen der Tätigkeit schrumpfen.

Daraus resultiert für die Unternehmen, die auf Pick-by-Vision-Anwendungen setzen, ein vergrößerter Pool an potenziellen Mitarbeitern.

Das verfängt gerade in Phasen, in denen die Wirtschaft im Allgemeinen und die Logistik im Besonderen händeringend nach Personal suchen. Aus diesem Grund empfiehlt sich ein Blick über den Tellerrand der bekannten Lösungen oder – in diesem konkreten Fall – auf das User-Interface einer Datenbrille, um gezielte Investitionen in eine zukunftsfähige Lagerinfrastruktur zu tätigen. ●

Matthias Arnold
Pressestelle
Picavi GmbH

An Augmented Reality führt kein Weg vorbei

ALJONA BARBERIO

Augmented Reality (AR) verbindet die physische Realität mit einer virtuellen Welt. Es ist immer noch die reale Umgebung, die man durch das Aufsetzen einer AR-Brille wahrnimmt, aber mit digitalen, lebensecht wirkenden Zusatzinformationen angereichert. In die Entwicklung der erforderlichen Hardware (AR-Brille) wird aktuell enorm viel investiert, so dass diese immer smarter und alltagstauglicher wird.

Fotos: Tepeon



Die Vertriebsmitarbeiter haben immer das komplette Produktsortiment digital dabei und sind in der Lage, die Maschine als 3D-Tischmodell auf den Besprechungstisch oder die Anlage in der Originalgröße beim Kunden vor Ort reinzustellen.

Als die ersten 800 Gramm schweren Handys auf den Markt kamen und mit diesen die Prophezeiung, dass nicht in allzu ferner Zukunft dies das Kommunikationsmittel schlechthin für Jedermann sein wird, war die Skepsis der Allgemeinheit sehr groß. Zu klobig und schwer, übersteuert, zu kurze Akku-Laufzeiten. Nun, 30 Jahre später, wissen wir alle, wo wir stehen – mit mehr als sieben Milliarden Handys weltweit.

Eine ähnliche Entwicklung, nur in rasanterem Tempo, erwartet uns mit der

AR-Technologie: eine IT-Erfolgsgeschichte, die unseren Alltag sowohl im privaten als auch im B2B-Bereich maßgeblich verändern wird. Die vielseitigen Vorteile und die Vielfalt an Anwendungsfeldern der AR-Technologien bewirken, dass innovative Unternehmen sich mit diesen entweder bereits jetzt schon auseinandersetzen oder es zukünftig machen müssen, um Ihre Wettbewerbsfähigkeit langfristig aufrecht zu erhalten.

Beispiel Maschinenbau: AR-Lösungen finden bereits ihren Einsatz in Vertriebs-

prozessen zu Produktpräsentationszwecken, im Konstruktionsprozess für Designabstimmungen und Konstruktionsprüfungen, im Service für angeleitete Maschinenwartungen sowie für Schulungen von Mitarbeitern und Kunden. Hierbei gilt stets: Hochtechnologische Produkte und Prozesse werden leichtverständlich veranschaulicht, komplexe Aufgabenstellungen vereinfacht und umfangreiche Informationen zielgerichtet strukturiert und ein-satzbezogen gefiltert. Prozessoptimierung, Zeit- und Kostenersparnisse und auch ein-

fach das überzeugende AR-Wow-Erlebnis beim Kunden sind die Resultate.

Christoph Kluge, Geschäftsführer der tepcon GmbH, Donaueschingen, gibt einen Einblick in die Praxis: „Unsere AR-Lösungen, Augmented Presenter und Augmented Instructor, werden seit 2018 bei einigen Maschinenherstellern eingesetzt. Beim Augmented Presenter liegt der Fokus auf der realitätsnahen Visualisierung von Anlagen für Planungs- und Entwicklungszwecke sowie für produktbezogene Abstimmungen mit den Kunden. Der Augmented Instructor ermöglicht virtuelle Anleitungen für den Einsatz in den Bereichen Maschinenwartung, -reparatur, Montage und Service-schulungen.

Alle Maschinendaten (3D Modelle) beziehungsweise Anleitungen liegen dafür virtuell in einem gesicherten IIoT-Portal. Die befugten Mitarbeiter beziehungsweise Kunden haben darauf zu jeder Zeit und von überall Zugriff und können bei Bedarf die erforderlichen Daten bequem auf eine AR-Brille wie zum Beispiel die Microsoft HoloLens laden.

Somit haben zum Beispiel die Vertriebsmitarbeiter immer das komplette Produktsortiment digital dabei und sind in der Lage, die Maschine als 3D-Tischmodell auf den Besprechungstisch oder die Anlage in der Originalgröße auf den Messestand beziehungsweise direkt in die Fertigungshalle beim Kunden vor Ort reinzustellen.

Technische Details und eventuell Produktanpassungen lassen sich am 3D-Modell bestens erklären und abstimmen. Im Konstruktionsprozess ermöglicht die AR-Lösung die Überprüfung von Konstruktionsplänen bereits in einer sehr frühen Projektphase. Die Anlage einschließlich aller Subsysteme kann über die virtuelle Konstruktionsprüfung komfortabel betrachtet und besprochen werden. Hohe Klarheit, effizienter Konstruktionsprozess ohne kostenaufwendige Designrevisionen und ein Produkt, das zu 100 Prozent den Kunden zufrieden stellt, das sind die Ergebnisse.

Interaktive Checklisten

Im Service erzielt man mit dem Augmented Instructor Zeit- und Kostenoptimierung der Serviceeinsätze, Minimierung der Fehlerquoten und maximale Flexibilität bei der Personalplanung, was in Zeiten von Facharbeitermangel besonders interessant und wichtig ist. Die interaktiven, leicht verständlichen Schritt-für-Schritt-Anleitungen, die direkt am physischen Objekt (also der Anlage), über die AR-Brille abgerufen werden, können eins zu eins an der Maschine abgearbeitet werden. Interaktive Checklisten stellen dabei sicher, dass alle Arbeitsschritte ausgeführt werden.“

Alexandra Laufer-Müller, Geschäftsführerin des Sonderanlagenherstellers AP&S International GmbH, die beide AR-Systeme

von Tepcon einsetzt, erklärt: „Das Feedback unserer Kunden ist großartig. Im November 2018 wurden wir von unserem Key Account Infineon, einem Halbleiterhersteller, mit dem „Supplier Award Best Innovation 2018“ ausgezeichnet. Im Entscheidungsverfahren überzeugten insbesondere unsere, mit Tepcon gemeinsam entwickelten, Industrie-4.0-Lösungen. Darunter ganz vorne mit dabei die AR-Lösungen, die unseren Kunden optimierte Fertigungsplanung, lösungsorientierten Konstruktionsprozess sowie Zeit- und Kosteneinsparungen bieten. Der hierbei geschaffene Kundenmehrwert verschafft uns ein klares Alleinstellungsmerkmal.“

Rechtzeitig auf den AR-Zug aufzusteigen, zahlt sich also für Anlagenhersteller aus. Die Anwendungsfelder sind vielfältig und nicht auf bestimmte Branchen oder Unternehmensbereiche begrenzt. Ideen und entsprechende Hardware sind in ständiger Entwicklung. Und das Beste dabei: AR-Lösungen lassen sich perfekt an die individuellen Herausforderungen verschiedener Märkte und Unternehmen anpassen und gewinnbringend einsetzen. ●

Aljona Barberio
Team Leader Marketing
AP&S International GmbH und Tepcon GmbH



Technische Details und Produktanpassungen lassen sich am 3D-Modell bestens erklären und abstimmen. Im Konstruktionsprozess ermöglicht die AR-Lösung die Überprüfung von Konstruktionsplänen bereits sehr früh.



Im Service werden die virtuellen Schritt-für-Schritt-Anleitungen über die AR-Brille abgerufen. Sie können auch von ungeübtem Personal eins zu eins an der Maschine abgearbeitet werden.

Die intelligente Datenbrille bietet Unterstützung in der Fertigung

ANDREAS FRIEDRICH

Die Digitalisierung durchdringt die Fertigung immer stärker. In einigen Bereichen, vor allem beim Umrüsten von Maschinen und beim Kommissionieren von Aufträgen, arbeiten Mitarbeiter jedoch häufig noch mit ausgedruckten Listen, drucken Etiketten auf Vorrat für die Kennzeichnung von Material und erfassen am Ende aufwändig alle Daten im Warenwirtschaftssystem. Deshalb wird untersucht, inwiefern AR in diesen Bereichen zum Einsatz kommen kann.

Fotos: Siemens





Tragbare Geräte geben den Mitarbeitern Orientierung im Lager.



Beim Praxistest in Siemenswerken ist die Effizienz der Anlagen deutlich per App verbessert worden.

Augmented Reality (AR) ist in der Arbeitswelt angekommen: Ein Konsortium aus sechs Unternehmen und Institutionen unter Leitung von Siemens hat in den vergangenen drei Jahren zu AR in der Industrie geforscht. Ziel des Glass@Service genannten Projekts war es, intelligente Datenbrillen durch die Verbindung mit neuartigen Interaktionsmöglichkeiten wie Augen- und Gestensteuerung sowie mit innovativen IT-Dienstleistungen als personalisierte Informationssysteme einsetzen zu können. Erste Praxistests in realen Produktions- und Logistik-Prozessen wurden jetzt erfolgreich abgeschlossen.

Jetzt erst sind die dafür erforderlichen technologischen Komponenten wie Micro-Displays, Controller-Elektronik, 3D-Kameras und Sensoren so ausgereift, dass sie zu einer neuartigen Mensch-Maschine-Interaktion kombiniert und in die IT-Landschaft einer Fabrik integriert werden können. „Siemens möchte diese Veränderung der Arbeitswelt von Anfang an mitgestalten“, erklärt Frank-Peter Schiefelbein von Siemens Corporate Technology das Siemens-Engagement im Rahmen von Glass@Service.

Die Praxistests fanden im Siemens Elektronikwerk Amberg und am Manufacturing-Standort Fürth statt. Je nach Einsatzgebiet muss die Software des AR-Systems speziell auf die Anforderungen zugeschnitten sein. In der Logistik geht es vor allem darum, den Mitarbeitern mithilfe der tragbaren Endgeräte Orientierungshilfen im Lager zu geben und die Produkte fehlerfrei zu identifizieren, zu markieren und im Warenwirtschafts-

tem online zu bearbeiten. Beim Umrüsten oder der Wartung von Maschinen kann die Datenbrille wertvolle Dienste leisten, indem sie jeden Arbeitsschritt über das Display einblendet und dabei den Mitarbeiter in der Bedienung von Maschinen unterstützt. Mit sogenannten Eye-Tracking-Kameras werden die Augenbewegungen erfasst. So kann mit dem System durch bewusste Steuerung der Blickrichtung interagiert und zum Beispiel ein Datenblatt gescrollt oder virtuelle Buttons aktiviert werden.

Neben Siemens waren am Forschungsprojekt die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), das Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP Dresden sowie die Firmen DIOPTIC GmbH, Ubimax GmbH und UVEX Arbeitsschutz GmbH beteiligt. Glass@Service wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.

Die in den Siemens-Werken untersuchten AR-Anwendungsmöglichkeiten werden in internen Projekten weiterverfolgt und sollen mittelfristig produktiv geschaltet werden. Um auf der Basis der bisherigen Erfahrungen weitere Einsatzgebiete von Augmented Reality in Fertigung und Service untersuchen zu können, sollen künftig weitere Forschungsvorhaben folgen. ●

.....
Andreas Friedrich
Siemens Digital Industries

Bei der Anlagenentwicklung den Überblick behalten

GEORG WÜNSCH

Simulation gehört schon lange zum guten Ton im Maschinenbau. Kein Unternehmen kann es sich noch erlauben, Maschinen oder Anlagen zu planen, bauen oder einzusetzen, ohne die Vorteile einer Simulationslösung zu nutzen: Angefangen bei der engen Zusammenarbeit aller beteiligten Teams, schnelles Testen verschiedener Ideen über die virtuelle Inbetriebnahme bis hin zur Wartung und Überwachung einer laufenden Maschine. Auch der Einsatz von Systemen mit Augmented Reality (AR) gehört in etlichen Unternehmen inzwischen zum Standard.

Fotos: Machineering



Augmented Reality in Verbindung mit Simulation kann Probleme bei der Anlagenentwicklung im Vorfeld lösen.

AR-Technologie bietet einen noch detaillierteren Einblick in die virtuelle Anlage, die geplanten Abläufe und später die Überwachung einer realen Anlage in Echtzeit. Doch für wen eignet sich überhaupt der Einsatz einer AR-Lösung?

Grundsätzlich profitiert jedes Unternehmen davon, einen anderen Blickwinkel in und auf geplante Anlagen zu haben. Das Münchner Unternehmen Machineering hat es geschafft, die AR-Systeme optimal an die selbst entwickelte Simulationssoftware Industrialphysics anzubinden. Die Modelle, die in die virtuelle Realität übertragen werden, basieren ausschließlich auf realen CAD-Daten. Alle in dem Simulationsmodell umgesetzten Parameter werden in Echtzeit an das virtuelle Modell übermittelt.

Somit kann in frühen Entwicklungsphasen das Verhalten der Anlage in Echtzeit simuliert werden. AR-Systeme ermöglichen die Bestimmung der exakten Zykluszeit sowie der zukünftigen Auslastung der Anlage. Probleme an der Anlage, die nach dem Bau an der realen Maschine auftreten würden, sind bereits frühzeitig am Modell sichtbar. Durch den Einsatz von AR-Brillen kann die laufende Anlage sogar virtuell begangen werden, um Fehler besser und schneller zu identifizieren. Auch besteht die Möglichkeit, dass Anwender bereits im Vorfeld alle Abläufe am virtuellen Modell durchspielen und so die optimale Lösung finden.

Mit der AR-Brille werden Modelle in die reale Umgebung eingeblendet. So können Live-Informationen aus der Steuerung

direkt in das Modell eingebunden werden. Oder die Anwender verwenden die eigens entwickelte AR-App. Damit können Teams über verschiedene Standorte hinweg das Modell am mobilen Endgerät betrachten, hineintauchen und darüber diskutieren. Lediglich durch die Bereitstellung der IP-Adresse steht allen Beteiligten weltweit der Zugang zu dem AR-Modell zur Verfügung.

Vorteile der Technologie

Der Vorteil der AR-Technologie liegt vor allem darin, dass Nutzer während der Anwendung die Umgebung wahrnehmen und auch mit anderen Nutzern interagieren können. Das ergibt sich oftmals während der Planungsphase, auch Wartungsarbeiten können völlig standortunabhängig durchgeführt werden.

Wenn eine Maschine erst einmal in Betrieb genommen wurde, stellte sich der Support – gerade bei Überseegeeschäften – als teuer und zeitaufwändig dar. Doch eine AR-Brille wie die Microsoft HoloLens schafft Abhilfe: Wenn alle Beteiligten die Brille tragen beziehungsweise die App nutzen, werden zeitgleich dieselben Daten in die Umgebung eingeblendet. Fast so, als würden beide zusammen vor der realen Maschine stehen. Wenn der Kundenservice angefragt werden muss, kann sich mithilfe der AR-Brille das Supportteam auf die Brille verbinden und den Mitarbeiter live anleiten.

Simulation schafft für Unternehmen einen enormen Sicherheitsgewinn – besonders bei komplexen Planungen. Durch frühzeitiges Erkennen von Engpässen oder Problemen kann das Risiko einer Fehlplanung minimiert werden. Auch können geplante Veränderungen zeitnah validiert werden. Bei Unsicherheiten besteht die Möglichkeit, verschiedene Planungsszenarien zu vergleichen und das Optimum herauszufiltern. Dadurch können sehr schnell Aussagen über Ausbringung und Gesamtanlageneffektivität getroffen werden. Mithilfe des kontinuierlichen Abgleichs durch Simulation schon bei kleinsten Änderungen steht einer Live-Zusammenarbeit einer Mechatronikprojektgruppe nichts im Weg.

Mithilfe von Simulation wird ein kontinuierlicher Abgleich aller Disziplinen und Arbeitsschritte ermöglicht – und zwar über den gesamten Entwicklungsprozess hinweg. Die Simulation steht als eine bereichsübergreifende Plattform zur Verfügung, auf der zu jedem Zeitpunkt der aktuelle Entwicklungsstand verifiziert und auf Realisierbarkeit mit weiteren Bereichen überprüft wird. Dabei greifen die Fachbereiche Mechanik, Elektrik und Software zeitgleich auf dieselben Modelle zurück, die sie jeweils in ihrer nativen Entwicklungsumgebung bearbeiten, gemeinsam weiterentwickeln und mittels der Simulation im Zusammenspiel testen.

Dabei übernimmt die Simulation eine komplett neue Rolle in der Anlagenentwicklung. Weg von einer Überprüfung, die in eine Sackgasse führt, hin zu einem Medium, das die unterschiedlichen Komponenten einer Maschine in einem digitalen Prototyp zusammenführt. ●

Dr. Georg Wunsch
CEO und Gründer der machineering
GmbH & Co. KG

sps

smart production solutions

30. Internationale Fachmesse
der industriellen Automation

Nürnberg, 26. – 28.11.2019
sps-messe.de



Bringing Automation to Life



Praxisnah. Zukunftsweisend. Persönlich.

Finden Sie praxisnahe Lösungen für Ihren spezifischen Arbeitsbereich sowie Lösungsansätze für die Herausforderungen von morgen.

Registrieren Sie sich jetzt!

Ihr 30 % Rabattcode: SPS19BESV11

sps-messe.de/eintrittskarten

mesago
Messe Frankfurt Group

Mit Brille senkt BAE Systems den Trainingsaufwand

MARKUS HANNEN

Die erweiterte Realität (Augmented Reality, AR) und die virtuelle Realität (Virtual Reality, VR) halten Einzug in alle Bereiche von Unternehmen, ob in der Produktentwicklung, im Marketing, Verkauf oder im Service, wo Techniker mit Hilfe von virtuellen Schritt-für-Schritt-Anleitungen Geräte und Maschinen im Feld warten und reparieren.

Ein weiterer Treiber der technologischen Entwicklung und Adaption ist der Bereich Ausbildung. Hier ist es vor allem die praktische Interaktion, die es dem Benutzer ermöglicht, Aufgaben besser zu üben und im Gedächtnis zu verankern als mit konventionellen, passiven Lernmethoden. Interaktive und benutzerfreundliche AR- und VR-Technologien lösen sperrige, zeitraubende Handbücher und

Trainingsanleitungen ab. Das motiviert nicht nur die Mitarbeiter, sondern erhöht auch die Sicherheit, wenn der Blick nicht ständig auf kleingeschriebene Anweisungen abwandern muss.

Den Nutzen erkannte auch BAE Systems. Das Luftfahrt- und Rüstungsunternehmen liefert eine breite Palette von Produkten und Dienstleistungen für Luft-, Land- und Seestreitkräfte sowie fortschritt-

liche Elektronik und Sicherheitstechnik, IT-Lösungen und Supportservices. Zum Portfolio gehören hybride elektrische Antriebssysteme für die E-Busse der HybridDrive-Serie. Mittlerweile sind 8000 elektrische Antriebssysteme von BAE Systems auf der ganzen Welt im Einsatz, transportieren mehr als 1,3 Milliarden Passagiere und sparen 17 Millionen Gallonen Treibstoff.

Fotos: PTC



Virtuelle und erweiterte Technologien sind besser geeignet, um praktisches Wissen zu vermitteln.

Die Nachfrage nach effizienten und emissionsarmen Elektromotoren ist rasant gestiegen – und damit auch das benötigte Produktionstempo bei BAE Systems. Neue Mitarbeiter sollen helfen, den Bedarf fristgerecht zu decken. Bei einem solch komplexen Produkt einfacher gesagt als getan: BAE Systems musste nach innovativen Lösungen suchen, um das zeit- und kostenintensive Training so effizient wie möglich zu gestalten, damit neue Mitarbeiter schnell vollwertig eingesetzt werden können.

Für neue Mitarbeiter und Auszubildende

Bisherige Lernmethoden beschränkten sich oftmals auf das passive Zuschauen bei Arbeitsabläufen, den Einsatz von Lernvideos oder auf das Lesen eines Handbuchs. Interaktives Lernen? Fehlanzeige. Virtuelle und erweiterte Technologien sind jedoch wesentlich besser geeignet, um praktisches Wissen zu vermitteln und die Auszubildenden aktiv miteinzubeziehen. Zusätzlich ermöglichen sie es, den Lernprozess flexibler und kürzer zu gestalten sowie schneller Ergebnisse zu erzielen. Wäre es effizient, wenn neue Mitarbeiter mit AR-Unterstützung durch die erforderlichen Montageschritte geführt werden und dadurch in kürzester Zeit vollwertig mitarbeiten können?

In der Microsoft HoloLens fand BAE Systems schnell ein geeignetes visuelles Schulungswerkzeug, das diese speziellen Anforderungen erfüllte und Auszubildenden oder angehenden Technikern die Anweisungen Schritt für Schritt über die Datenbrille im Sichtfeld einblendet. Wo kommen diese Anweisungen her? Möglich macht dies Vuforia Studio (ehemals



Die AR-Schulungsanwendung führt den Monteur Schritt für Schritt durch den Prozess.

Thingworx Studio) für erweiterte Realität von PTC, in dem die AR-Anwendung erschaffen wird. Vuforia Studio nutzt die 3D-CAD-Daten von Produkten, Maschinen oder ganzen Anlagen, um virtuelle Abbildungen zu erstellen, die frei in den Raum oder auf das physische Pendant projiziert werden. Selbst Echtzeitdaten, etwa von Sensoren, die über die IoT-Plattform Thingworx erfasst werden, können dank dieser Technologie bei Bedarf einbezogen und angezeigt werden. Dazu sind keine Programmierungs- oder Codierungskompetenzen notwendig. Dank einfachem und intuitivem Drag-and-drop-Verfahren und mit Hilfe von vorbereiteten Widgets reduziert sich die Zeit zur Erstellung von AR-Inhalten von Tagen und Wochen auf Stunden oder sogar auf wenige Minuten.

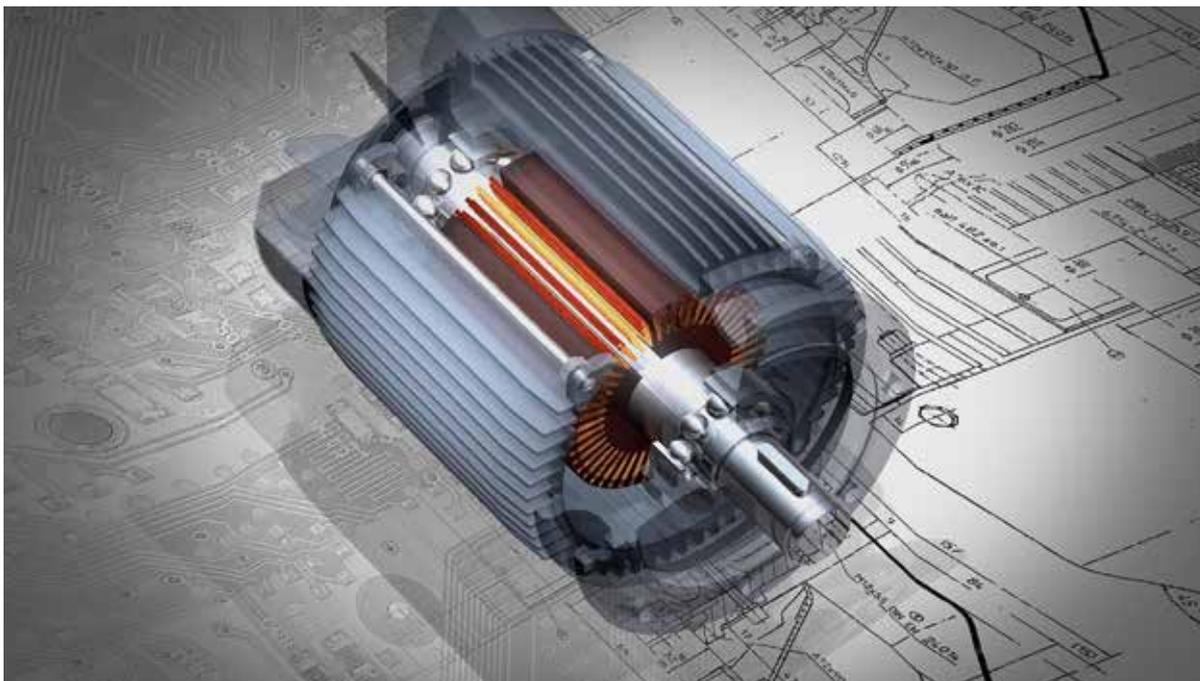
Eigene AR-Anwendung erstellen

BAE Systems entwickelte eine eigene AR-Schulungsanwendung inklusive einer visuellen Schritt-für-Schritt-Anleitung, mit der der Monteur die Batterie komplett zusammenbauen kann. Das Vorgehen zur Erstellung einer solchen AR-Anwendung sah wie folgt aus: Zunächst werden die

bereits vorhandenen 3D-CAD-Daten der Batterie in PTC Creo Illustrate geladen. Der Ersteller der Anleitung sieht eine digitale visuelle 3D-Repräsentation der Batterie vor sich. Er kann nun beginnen, die einzelnen Schritte und Sequenzen des Zusammenbaus zu definieren sowie die verschiedenen Schritte per „Drag-and-drop“ zu erstellen – beispielsweise welche Schrauben wie zu lösen sind oder welche Platte er wie montieren muss.

Zur besseren Veranschaulichung kann in einem Editor aus diversen Gestaltungsvarianten gewählt werden. So können etwa einzelne Teile aufblincken, damit der spätere Nutzer sie als nächsten Schritt erkennt, und sich dann in eine bestimmte Richtung bewegen. Damit wird beispielsweise angezeigt, in welcher Reihenfolge die einzelnen Platten der Batterie aufeinander gesetzt werden müssen.

Ist die gesamte Animation für die Montage der Batterie erstellt, werden sowohl die 3D-CAD-Daten als auch die Animation selbst in das Creo Viewing Format PVZ übertragen. Der Ersteller der AR-Anwendung legt ein neues Projekt an, wählt das entsprechende Anzeigemedium aus – in diesem Fall „3D Eyewear“ – und startet



Virtuelle Abbildungen können frei in den Raum oder auf das physische Pendant projiziert werden.

mit der Platzierung der diversen Elemente im Arbeitsbereich.

Als erstes wird eine so genannte Thingmark positioniert, die zum einen zur Identifikation der Anwendung und zum anderen als Referenz für die Platzierung der Elemente im 3D-Raum verwendet wird. Neben verschiedenen Anzeige- und Kontrollelementen lädt der Ersteller auch das 3D-Modell inklusive der zuvor erstellten Animation in das Projekt und platziert es im virtuellen Raum. Darüber hinaus können auch Gesten und Sprachbefehle für die Aktivierung von Aktionen definiert werden wie etwa das Weitergehen zum nächsten Schritt der Montageanweisung per Zeigefinger und Daumen. Bevor die Anwendung zur Verwendung in die Cloud

hochgeladen wird, kann der Ersteller diese lokal testen.

Zu guter Letzt wird eine Thingmark neben oder auf dem physischen Gerät platziert – je nachdem wie es zuvor definiert worden ist. Anhand eines einfachen Scannens dieser Marke über die Hololens ist es möglich, genau diese Anwendung sowie das 3D-Modell und die anderen Elemente im Raum darzustellen. Der Anwender kann über die Möglichkeiten der Brille in der Anwendung navigieren.

Nachweisbar effizienter

Zeit- und kostenintensive Trainings sowie sperrige Handbücher haben damit ausgedient. Die Auszubildenden oder angehen-

den Servicetechniker können mit dieser Anwendung lernen, wie die Batterie richtig zusammengebaut wird, indem sie die Schritte via Datenbrille vor sich eingeblendet bekommen. Das sorgt für sofortigen Nutzen und für sichtbare wirtschaftliche Mehrwerte – im Schnitt können neue Mitarbeiter 30 bis 40 Prozent effizienter geschult werden. Die AR-Anwendung kann im Vergleich zu anderen Plattformen zudem zu einem Zehntel der Kosten und des Zeitaufwands realisiert werden. ●

Markus Hannen
 Vice President Pre Sales
 & Business Development
 PTC

Impressum

Herausgeber und Verlag

VDMA Verlag GmbH
Lyoner Straße 18
60528 Frankfurt
www.vdma-verlag.com

Geschäftsführung

Stefan Prasse, Holger Breiderhoff

Verlagsleitung Zeitschriften

Manfred Ottawa
manfred.otawa@vdma.org

Redaktion

Georg Dlugosch
Telefon +49 7423 8499477
info@dlugosch.org

Anzeigen

Verlagsvertretung
Baden-Württemberg und Hessen
Armin Schaum
Telefon +49 69 95408775
verlagsbuero.schaum@t-online.de

Verlagsvertretung
Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen
Gabriele Schneider
Telefon +49 5206 91500
g.schneider@gs-media-service.de

Druckauflage

6600 Exemplare

Titelbild

Rohmetall
Fotografiert von Manfred Zimmermann,
Euromediahouse.

Foto Seite 2

Adobe Stock / mari1408

Layout und Design

VDMA Verlag GmbH

Produktion

designtes, Frankfurt

Druck

Druck- und Verlagshaus Zarbock
GmbH & Co. KG, Frankfurt am Main

Copyright

Veröffentlichungen in jeder Form, auch
auszugsweise, nur mit Genehmigung der
VDMA Verlag GmbH und unter ausführ-
licher Quellenangabe gestattet.

Hinweis

Gezeichnete Artikel geben nicht unbedingt
die Meinung des Herausgebers wieder.
Für unverlangt eingesandte Manuskripte
haftet der Verlag nicht.

ISSN 2366-777X

DAS NETZWERK
FÜR
INTELLIGENTE
PRODUKTION

www.future-manufacturing.eu