

WERKZEUGMASCHINEN



INTRO

Produktiv und präzise

Unternehmen stecken einen großen Teil ihres Kapitals in Anlagen und Werkzeugmaschinen. Sie sind anspruchsvoll, denn ihr Geschäft hängt davon ab. Ingenieurinnen und Ingenieure investieren viel Schweiß und Arbeit in die Optimierung, Wartung und Weiterentwicklung unterschiedlichster Anlagen. Werkzeugmaschinen sollen produktiv sein und Qualitätsstandards gewährleisten, günstig in der Beschaffung und in der Entsorgung sein, möglichst wenig Betriebskosten verursachen und gesetzliche Mindestanforderungen an Arbeits- und Umweltschutz garantieren. Und nun sollen sie auch noch kommunizieren.

WERKZEUGMASCHINEN

Hohe Erwartungen an den Maschinenbau

Der Werkzeugmaschinenbau stand seit seinen Anfängen im Mittelpunkt von technologischen Umwälzungen, die weitreichende Folgen für Wirtschaft und Gesellschaft haben. Heute ist die Produktion von Werkzeugmaschinen so weit, dass sie auch auf höchst komplexe Anforderungen eine Antwort kennt. Deutsche Maschinen- und Anlagenhersteller stellen ihr Portfolio auf die Elektromobilität ein. Ingenieurinnen und Ingenieure haben die Smart Factory entworfen, in der Maschinen digital vernetzt miteinander kommunizieren. In der Digitalisierung der Arbeitswelt erkennen Wissenschaftler bereits eine vierte industrielle Revolution.

Die meisten weltweit verkauften Werkzeugmaschinen kommen heute aus Deutschland und aus Japan. Während Visionäre nach den Sternen griffen, hat sich die mittelständisch geprägte Branche der deutschen Werkzeugmaschinenbauer eher bodenständig entwickelt und war damit sehr erfolgreich. Wie reagiert diese Branche nun auf ein utopisch anmutendes Konzept wie Industrie 4.0? Pragmatisch. Sie hört genau zu, was Produzenten und Kunden im Einzelfall wollen und entwickelt entsprechende Antworten. Denn Industrie-4.0-Konzepte von der Stange gibt es nicht. Jedes Unternehmen muss aus einer Fülle von Optionen ein sinnvolles

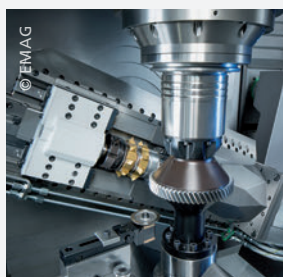
weiter auf S. 2



© Michael Bokelmann

PORTRÄT
Mikroskopisches Arbeiten

Der 29-jährige Prozessingenieur Andreas Relard ist Master of Science in Mechanical Engineering. Er arbeitet in Ostwestfalen bei dem weltweit operierenden Unternehmen ELHA an der Schnittstelle zwischen Prozess und Produktion. **weiter auf S. 2–4**

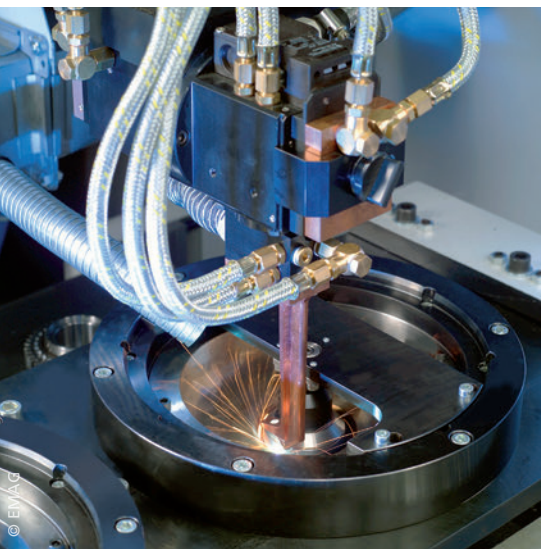


© EWAG

BEISPIELE
Neue Entwicklungen

Werkzeugmaschinen sind komplexe Gebilde, die permanent weiterentwickelt werden. Unternehmen erproben neue Laserverfahren oder energieeffiziente Presstechniken und stellen sich auf die Elektromobilität ein. **weiter auf S. 5–6**

Portfolio entwickeln. So stellt Bernhard Uhr, der stellvertretende Entwicklungsleiter bei Kern Microtechnik, bei dieser Entwicklung die Datenvernetzung der Werkzeugmaschinen in den Vordergrund. Werkzeugmaschinen sollen in der Lage sein, Informationen über Standardschnittstellen auszutauschen und zu verarbeiten. Lösungen sollen flexibel, einfach umsetzbar und erschwinglich und die Anlagen über lange Zeit mit technischen Neuerungen nachrüstbar sein. Winfried Benz, Geschäftsführer bei Licon mt, hat einen anderen Fokus: Werkzeugmaschinen sollen Schwingensignale analysieren und zu einer präzisen Selbstdiagnose nutzen. So können sie über das Steuerungssystem zuverlässige Hinweise zu ihrem technischen Zustand geben, damit sich Wartungen planen, Stillstände vermeiden und die Arbeitsprozesse optimieren lassen. Jürgen Möbus, der technische Leiter der Handtmann A-Punkt Automation, hält Werkzeugmaschinen nur dann für Industrie-4.0-tauglich, wenn sie leicht automatisierbar sind, Daten mittels Sensoren erfassen, zentral speichern und für eine anschließende Analyse zugänglich machen können. Alle Prozesse sollten digital abgebildet werden, um sie gezielt optimieren, die Maschinen warten und unterstützende Mensch-Maschine-Schnittstellen realisieren zu können. Drei Perspektiven, drei völlig unterschiedliche Herausforderun-



Wichtige Technologie im Maschinenbau: Laserschweißen

gen für Maschinenbauer. Die Elektromobilität sorgt bei den Herstellern von Werkzeugmaschinen für zusätzlichen Entwicklungsdruck. Circa 50 Prozent ihrer Maschinen arbeiten im Dienste der Automobilindustrie. Unternehmen stellen ihre Produktion bereits auf Hybrid- und Elektrofahrzeuge ein (siehe das Beispiel GROB auf Seite 5).



Für die hohe Präzision im Werkzeugmaschinenbau braucht man eine gehörige Portion Durchblick

PORTRÄT

Mikroskopisches Arbeiten

Im Werkzeugmaschinenbau werden Maschinen hergestellt, die mit Werkzeugen arbeiten, um Produkte für den Kunden herzustellen. Damit sie reibungslos funktionieren, ist Andreas Relard Prozesingenieur bei der Firma ELHA-Maschinenbau Liemke KG.

Es ist Vormittag im Werk 2 der Firma ELHA. In dem Industriegebiet mitten im ländlichen Hövelhof arbeiten Mitarbeiter an haushohen Anlagen, und doch hört man eher eine verhaltene Ruhe, die vom Zischen einer Werkzeugmaschinentüre oder einem Gesprächsfetzen unterbrochen wird. Nichts lässt darauf schließen, dass hinter einer solchen Türe gerade ein armlanger Bohrer massiven Stahl durchlöchert – Schallisolierung ist hörbar alles.

Das zwischen Bielefeld und Paderborn ansässige Familienunternehmen ELHA hat sich auf den Werkzeugmaschinenbau für die spanabhebende Metallbearbeitung spezialisiert. Hier werden also meterhohe Metallkisten voller Technik und Elektronik für die unterschiedlichsten Branchen entworfen, gebaut und programmiert. Für Großwälzlager- sowie Automobilhersteller und deren Zulieferer. Das Besondere hier: Die Werkzeuge sind in den Wänden der Maschine fest verbaut, sodass das Werkstück

bis an Bohrer & Co. manövriert wird und nicht umgekehrt. Per Spannvorrichtung geschieht dies auf den hundertstel Millimeter genau.

Nomen est Omen

Kern dieses Prozesses sind nicht nur die Entwicklung und Realisierung hochproduktiver Zerspanungsprozesse, sondern auch die Prozessentwicklung, Konstruktion, Herstellung und Betreuung. Zugegeben, das klingt abstrakt und kompliziert. Ist es auch. Und doch lässt sich die gesamte Idee des Unternehmens auf das Werkstück eines Kunden fokussieren. Es



Andreas Relard an einer der Anlagen



© Michael Bokelmann



Immer wieder müssen die einzelnen Werkzeuge untersucht werden, um

geht letztlich um fassbare Bauteile, die eine Maschine später herstellt. In dieser Werkzeugmaschine werden dann – Nomen est Omen – Werkzeuge zum Bohren, Drehen, Fräsen, Schleifen oder zum Schneiden von Gewinden eingebaut. So entstehen am Ende aus dem einst massiven Rohbauteil fertig bearbeitete Produkte mit Rillen, Gewinden, Löchern und Gängen. Beispiel: Für einen Autohersteller fertigt die Firma Werkzeugmaschinen, die wiederum Einzelelemente für den Motor produzieren. Nach der Auslieferung der Werkzeugmaschine kann der Kunde seine Produkte dann selbst herstellen. Überall in der Halle stehen solche raumfüllenden Aggregate voller Technik, in denen später vollautomatisch allerhöchste Präzision ins rohe Metall getrieben wird.

Zwischen Schreibtisch und Werkhalle

Der 29-jährige Prozessingenieur Andreas Relard beschäftigt sich hauptsächlich mit dem Zerspanungsprozess und seiner Optimierung. Für den frisch gebakenen Master of Science in Mechanical Engineering ist der Werkzeugmaschinenbau schon lange ein zentrales Thema, ist er doch nach Schülerpraktikum und dualem Studium bei der ELHA nun fest angestellter Ingenieur im weltweit tätigen Unternehmen. Passend zum globalen Auftritt der ostwestfälischen Maschinenbauer ging es auch für Relard noch während des Studiums für mehrere Monate nach Detroit, wo er in einer ähnlichen Firma mitarbeiten und neue

Erfahrungen sammeln konnte. Als junger Mitarbeiter der Numerical-Control-Abteilung (NC) kümmert er sich heute um den Bearbeitungsprozess zur Herstellung eines Bauteils in der Werkzeugmaschine. Folgerichtig ist sein Arbeitsplatz mal



Drehen, Fräsen, Bohren, Schneiden – jedes Werkzeug in der Maschine hat eine spezielle Aufgabe bei der Bearbeitung der rohen Werkstücke

der Computer, mal das Mikroskop und dann wieder die Produktion im Werk 2. Und wenn bei den Werkzeugen und den eingestellten Schnittparametern irgendwo der Wurm drinsteckt, muss er als Prozessingenieur ran und den Fehler im System suchen. Eine Art Profiler auf der Suche nach den versteckten Bugs im Detail. „Es ist eine Herausforderung, wenn geplante Systeme noch nicht zu 100 Prozent rund laufen. Also betrachte ich sowohl unsere Testprodukte als auch

die Werkzeuge immer mal wieder unter dem Lichtmikroskop. ‚Wo sitzt der Fehler? Wo wurde falsch gearbeitet, und wie hat sich das programmierte Werkzeug abgenutzt?‘ All das sind Fragen, mit denen ich mich beschäftige.“

Auf Lösungssuche

Wenn der Fehler gefunden ist, lassen sich derartige Probleme oftmals beheben, indem entweder die Maschinen umprogrammiert werden oder Geometrien, Beschichtungen und vieles mehr an den Werkzeugen geändert wird. Relards Job. „Die Position, die ich hier bekleide, gab es so vorher nicht. Ich gehöre zwar eigentlich zur NC-Abteilung, bin aber eher eine Schnittstelle zwischen Prozess und Produktion, wenn es um die Zerspanung geht.“ Das bedeutet, rein ins Werk und mit den Fachkräften vor Ort sprechen: „Wir überprüfen dann zum Beispiel, ob die Werkzeuge verschlissen oder defekt sind. Ist das nicht der Fall, reden wir mit den NC-Programmierern und gucken, ob wir gemeinsam die Zerspanungsstrategie ändern. Last but not least fragen wir auch den Werkzeughersteller nach Ideen, so lange, bis eine Lösung gefunden ist.“

Mikrometer genau

Die Werkzeugmaschinen arbeiten auf den Mikrometer genau und müssen diese Präzision über viele Werkstücke beibehalten. Und wenn die Werkzeuge in der Maschine verschleiben, wechseln sie sich entweder selbst aus oder können ganz



© Michael Bockmann

die Wirkung nach dem Einsatz in der Maschine zu bewerten

einfach manuell ersetzt werden. Auch dabei muss der hohe Standard der Präzision gewahrt bleiben. In den nächsten Jahren wird Relard deshalb noch früher in den Planungsprozess eingebunden werden, damit mögliche Probleme im besten Falle erst gar nicht auftreten. So sammelt er jetzt Informationen, wie sich verschiedene Materialien und Werkzeuge verhalten und untersucht die Details unter dem Mikroskop, um der Kenner für die wesentlichen Details zu werden. Können, Sammeln, Anwenden. Es ist eine spannende Mischung aus detektivischem Werkstoffwissen und klassischen Maschinenbaukompetenzen. Irgendwo in Ostwestfalen. In einer Halle voller Maschinen, die im Flüsterton die Härte im Detail beweisen.



© Michael Bockmann

Werkzeugmaschinen machen aus groben Metallstücken präzise verarbeitete Werkstücke, wobei riesige Mengen Metallspäne anfallen

INTERVIEW

Große Zukunftschancen

Dr. Jürgen Dispan beschäftigt sich als Soziologe und Wirtschaftsgeograf am IMU Institut in Stuttgart seit vielen Jahren auch mit dem Werkzeugmaschinenbau. Anfang 2017 veröffentlichte er eine Studie zu den Entwicklungstrends der Branche.

Worum geht es in Ihrer Studie?

Ich betrachte den Werkzeugmaschinenbau aus einem ökonomischen und einem sozialwissenschaftlichen Blickwinkel. Dabei werden auch die absehbaren Entwicklungen in der Branche und auf dem Markt behandelt. Unter anderem geht es auch um die Beschäftigungstrends und wie Arbeitsbedingungen und Qualifikationen sich verändern. Aus wirtschaftlicher und technologischer Sicht ist der Werkzeugmaschinenbau eine hochinteressante Branche und zugleich ein Zentrum des Maschinenbaus. Das liegt vor allem an der immensen Leistungsfähigkeit und Innovationskraft. Somit hat die Branche eine bedeutende Strahlkraft – für den Maschinenbau und darüber hinaus für viele weitere Industriezweige.

Wie sieht die Zukunft der Branche aus?

Die Studie zentriert sich um die drei großen Themenbereiche für den Werkzeugmaschinenbau. Zum einen ist das größte Thema mit Sicherheit die Digitalisierung und die Industrie 4.0. Die Vernetzung der Arbeit spielt im Prozess sowie in der Produktion eine immer größere Rolle. Auch die Internationalisierung des Marktes ist ein wichtiger Bereich, da der Wettbewerb mit Schwellenländern wie China immer weiter ansteigt. Das mittlere Markt- und Technologiesegment wird international konstant an Bedeutung gewinnen – darauf müssen sich die deutschen Werkzeugmaschinenhersteller einstellen. Als dritten Themenkomplex geht es in der Studie um die Beschäftigung, vor allem um Fachkräfte, Ausbildung und den demografischen Wandel. Fachkräfte sind ein hohes Gut und werden – nach wie vor und immer mehr – dringend gesucht, das gilt für die Produktion, Montage und Inbetriebnahme ebenso wie für den Ingenieur.

Wie sehen die Chancen für Ingenieure aus?

Aus Sicht der Ingenieure gibt es gute Karriereaussichten. Ähnlich wie bei den Facharbeitern sind die Perspektiven zum Beispiel

in der IT, Elektrotechnik und Mechatronik richtig gut. So sind Softwareentwickler, aber auch Experten im Thema Hardware begehrt. Gerade in diesen Bereichen gibt es vielfältige Einsatzmöglichkeiten und große Zukunftschancen. Besonders interessant ist das Zusammenspiel von Facharbeitern und Ingenieuren. Das Miteinander zwischen diesen Fachkompetenzen ist für die Innovationsfähigkeit technologieorientierter Betriebe überaus wichtig und ein absoluter Pluspunkt für deutsche Hersteller. Im Grunde gilt das natürlich für alle technologiegetriebenen Branchen – und im Besonderen auch für den Werkzeugmaschinenbau.

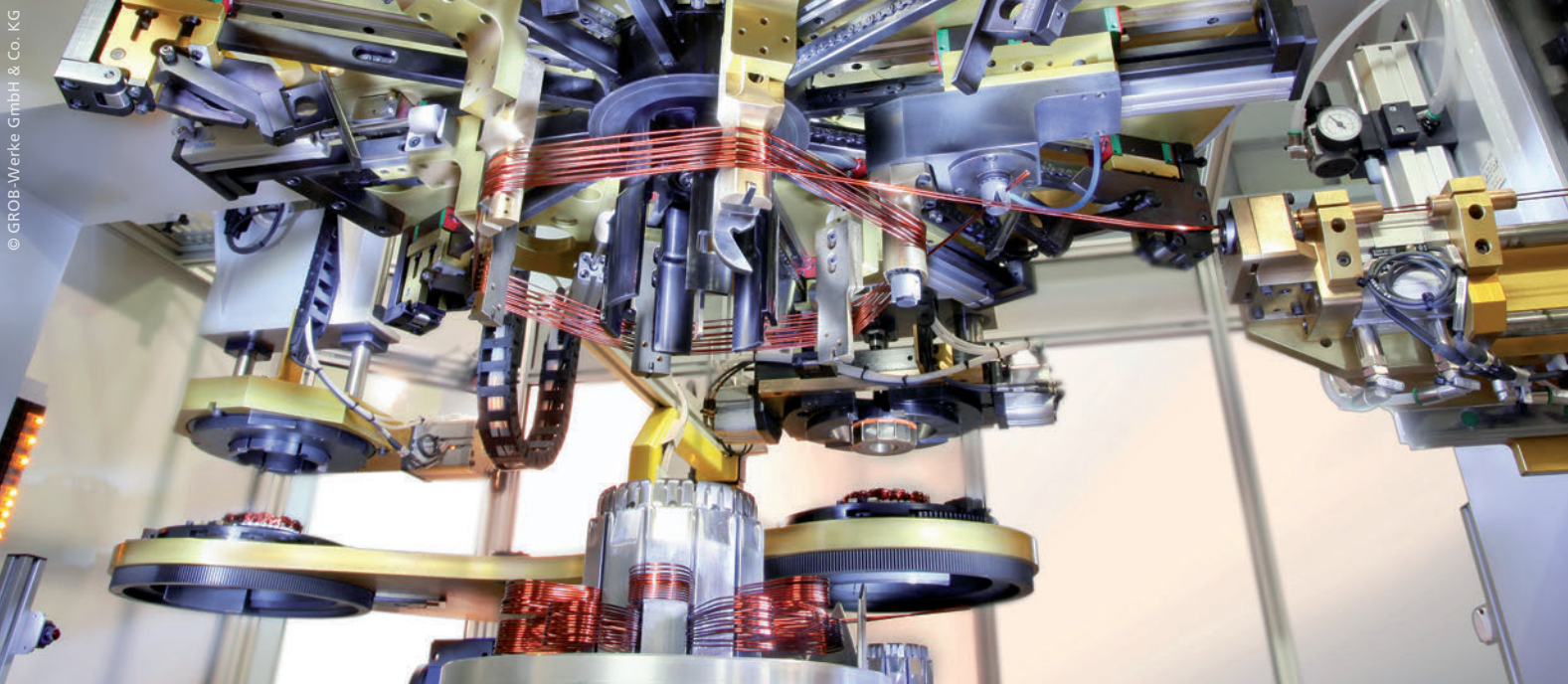
Hat die Industrie auf Ihre Studie reagiert?

Es gab durchaus eine Resonanz der Industrie, da zum einen aktuelle technologische Trends dargestellt sind und zum anderen ihre Wirkungen auf Beschäftigung untersucht werden. Und diese Trends rund um die Arbeitswelt und daraus ableitbare Herausforderungen für die Unternehmen sind für alle Beteiligten wichtig und werden von den Branchenakteuren diskutiert. Hier spielen auch Neuerungen oder sogar grundlegende Veränderungen in der Branche eine entscheidende Rolle. So bringen Innovationen wie Additive Manufacturing nicht nur Chancen, sondern auch Risiken mit sich. Ein Risiko für die Branche könnte in der Substitution klassischer Werkzeugmaschinen durch 3D-Drucker liegen. Auf der anderen Seite bieten Werkzeugmaschinenhersteller bereits Hybridmaschinen für Zerspanung und 3D-Druck an und sehen das als künftigen Wettbewerbsvorteil. Sowohl Risiken als auch Chancen bietet der Technologiewandel zur Elektromobilität bei der wichtigsten Abnehmerbranche Automobilindustrie. Der Werkzeugmaschinenbau muss die Markt-, Innovations- und Beschäftigungstrends also weiter beobachten und daraus geeignete Strategien ableiten, um die Weichen für die Zukunft gut und richtig zu stellen.



© IMU Institut/Stuttgart

Dr. Jürgen Dispan



GROB kauft und entwickelt Know-how für die E-Mobilität: Eine Maschine des italienischen Unternehmens DMG meccanica

BEISPIELE

Was sich in den Unternehmen tut

GROB: Elektromobilität im Fokus

Die Mindelheimer GROB-Werke gehören zu den weltweit größten Anbietern von Werkzeugmaschinen und Anlagen zur Bauteilbearbeitung in der Automobilindustrie. Zulieferer und Unternehmen verschiedenster Branchen gehören zu ihren Kunden. In diesem Unternehmen steckt eine Menge Werkzeugmaschinen-Know-how. Die Produktion von Elektromotoren erfordert jedoch spezielles zusätzliches Wissen. Hier hat GROB durch die Übernahme des italienischen Unternehmens DMG meccanica im Februar 2017 einen Quantensprung getan. Mit dem Kauf eines der größten europäischen Anlagen- und Maschinenproduzenten für Elektromotoren wurde das Produktportfolio erweitert. GROB ist somit in der Lage, als Generalunternehmer größere Projekte für Hybrid- oder reine Elektroantriebe in Auftrag zu nehmen. Das Unternehmen kann Maschinen und Anlagen für Elektromotoren, Batteriemodule, Batteriepacks und Brennstoffzellen anbieten und diese zukünftig prozesssicher für die Serienfertigung produzieren. Zu diesem Zweck wurde eine eigene Entwicklungsabteilung für Komponenten und Maschinen zur Herstellung von Elektroantrieben aufgebaut, in der sich eine Vielzahl an Spezialisten und Entwicklungsingenieuren mit diesem Bereich der Metallbearbeitung befassen. In enger Zusammenarbeit mit der Autoindustrie treibt das Team die Entwicklung von Elektromotoren und Batteriemodulen voran.



EMAG-Maschine eQC Quench überwacht das Abschreckmittel während des Härteprozesses

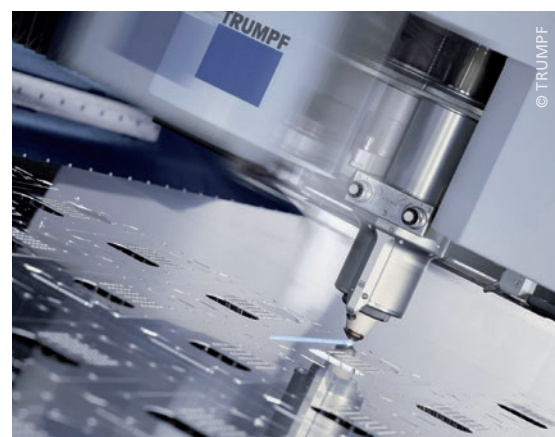
EMAG: Werkzeugmaschinen für alle Fälle

Mittelständische Unternehmen beurteilen Werkzeugmaschinen vor allem nach drei Kriterien: Lässt sich damit in der Fertigung die Produktivität und Qualität erhöhen? Wieviel Platz benötigen sie? Und wie zuverlässig sind die Maschinen, also sind sie so halt- und nachrüstbar, dass sie auch nach vielen Jahren noch problemlos laufen? Das weltweit agierende Unternehmen EMAG mit deutschen Standorten in Salach, Göppingen und Leipzig bedient diese grundlegenden Bedürfnisse der Industrie seit Jahrzehnten erfolgreich. Die EMAG-Gruppe deckt mit ihren Fertigungssystemen die gesamte Prozesskette bei der Getriebe-,

Motoren- und Fahrwerkskomponentenfertigung und in anderen Sektoren ab. Dazu gehören Techniken wie Drehen, Bohren, Fräsen, Verzahnen, Schleifen, Laserschweißen, induktives Härten und die Automatisierung. Das Unternehmen liefert zudem maßgeschneiderte Fertigungssysteme – für die Großproduktion und für mittlere Stückzahlen. Um das dazu nötige Know-how im Unternehmen zu halten, investiert EMAG in seine Mitarbeiter. Rund zehn Prozent der Beschäftigten sind Auszubildende, die nach erfolgreichem Abschluss nahezu vollständig übernommen werden. Weiterbildungsprogramme für Ingenieure sorgen für Wissensaustausch und den erforderlichen Blick über den Tellerrand.

TRUMPF: Allrounder Laser

Die Industrie nutzt den Laser seit Jahren als Allroundtechnik. Und tatsächlich sind moderne Laserverfahren so etwas wie die Heinezmännchen der Produktionstechnik. Industrielaser formen Metallbauteile um, trennen, fügen und beschichten sie. Bei unterschiedlichen Materialien wie Holz, Kunststoff, Pa-



pier und Metall können mit dem Laser die Stoffeigenschaften verändert werden. Industrielaser werden aber auch zur Bildverarbeitung und in der Qualitätskontrolle, etwa in Fertigungsstraßen, genutzt. Der Industrie geht es bei dieser Entwicklung vor allem um Effizienz und Wirtschaftlichkeit. Nicht nur in der Automobilindustrie gehört neben dem Schneiden von Metallen das Markieren und Gravieren zu den wichtigen Aufgaben des Lasers. Die Maschinenbauingenieure stellen sich darauf ein. Das Unternehmen Trumpf hat eine Reihe von Lasersystemen für spezielle Arbeitsbereiche wie wissenschaftliche Anwendungen, Sensorik und Optik entwickelt. Die Laser kombinieren verschiedene Anwendungen auf intelligente Weise. So übernimmt etwa der kompakte TruMark Funktionen des Faserlasers, des Scanners sowie die interne Anlagensteuerung. Mit infraroter Wellenlänge markiert er Metalle, Kunststoffe und organische Materialien und liefert saubere korrosionsfreie Tiefengravuren ab. Ergänzt durch das System TruMicro 2000 stellt er seine Pulsenergien flexibel auf Material und Arbeitsvorgang ein und wird dadurch zu einem wahren Allrounder.

SCHULER: Energieeffizientes Presswerk

Das Unternehmen Schuler stellt der metallverarbeitenden Industrie ein breites technisches Spektrum zur Verfügung. Das reicht von Pressen über Automationslösungen bis zum Prozess-Know-how, von Großrohren bis zu Systemlösungen für die Luft- und Raumfahrt, die Automobilindustrie und den Schienenverkehr. Da vor allem die Presswerke viel Energie verbrauchen, macht man sich bei Schuler Gedanken über energieeffiziente Lösungen. Technologie-Vorstand Joachim Beyer: „Unser Nachhaltigkeitsprogramm Ecoform bündelt alle Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz unserer Produkte (...). Ziel ist die Schonung aller Ressourcen und die Reduzierung des Energiebedarfs unter Beibehaltung höchster Produktivität.“ Das Zauberwort heißt intelligentes Energiemanagement.

Links für Schüler und Studierende

Maschinenbauingenieure entwickeln und optimieren Geräte und Produktionsanlagen für sämtliche Branchen und sind die entscheidenden Innovationstreiber. Das Maschinenbaustudium ist das Eintrittsticket zu einer vielseitigen und interessanten Tätigkeit und zu guten Berufsperspektiven. Interesse an Mathematik, Physik, Elektrotechnik und Chemie sollte vorhanden sein.

Maschinenbau

Bachelor und Master am KIT Karlsruhe
s.think-ing.de/maschbau-kit

Maschinenbau

Diplom an der TU Dresden
s.think-ing.de/maschbau-dresden

Maschinenbau

Bachelor und Master an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg
s.think-ing.de/maschbau-dhbw
s.think-ing.de/maschbau-dhbw-master

Maschinenbau

Bachelor und Master an der TU Berlin
s.think-ing.de/maschbau-berlin
s.think-ing.de/maschbau-berlin-master

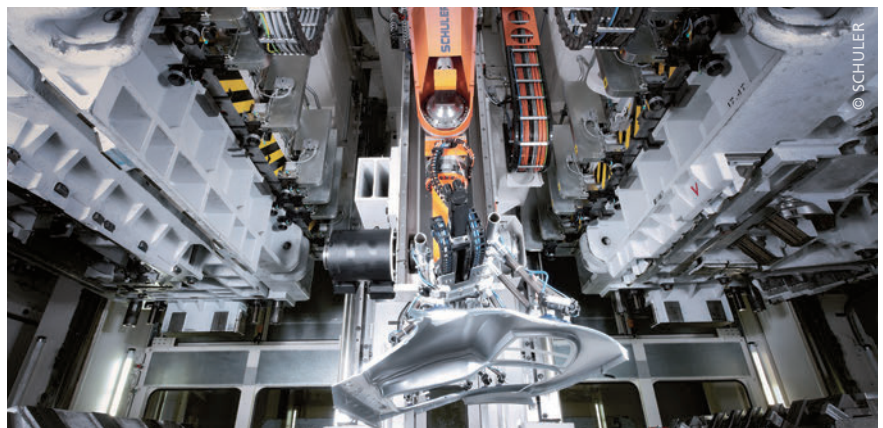
Service Engineering

(Wirtschaftsingenieur Service)
Bachelor an der Frankfurt UAS (Frankfurt.a.M.)
s.think-ing.de/service-engineering-ffm

Weitere Studiengänge unter: www.search-ing.de

Damit spart etwa das bei Schuler entwickelte Verfahren Efficient Hydraulic Forming (EHF) gegenüber konventionellen hydraulischen Pressen bis zu 60 Prozent der Energie ein. Neuere Pressen verfügen unter anderem über ein smartes Gleichstromnetz, intelligente Standby- und Pausenschaltungen und Antriebssysteme mit flexibler Drehzahlregelung. Der Crossbar Roboter 4.0 hat die Aufgabe, Pressenlinien

zu automatisieren. Er wiegt weniger als seine Roboterkollegen und verfügt über eine integrierte Energierückgewinnung. Damit spart er 50 Prozent Energieverbrauch ein. Auch bestehende Anlagen lassen sich verbessern. Als Systemanbieter müsse man halt immer den Blick auf das Ganze richten, betont Joachim Beyer. Dann könne man alle wichtigen Verfahren und Prozesse energetisch optimieren.



Der Crossbar Feeder steigert Anlagen- und Prozesseffizienz bei Pressenlinien

Impressum

Herausgeber: Gesamtmetall

Gesamtverband der Arbeitgeberverbände
der Metall- und Elektro-Industrie e.V.
Voßstraße 16 - 10117 Berlin

Objektleitung: Wolfgang Gollub (verantw.)

Druck: color-offset-wälder
GmbH & Co. KG, Dortmund

Redaktion und Gestaltung:
concedra GmbH, Bochum

www.think-ing.de