

Trendbericht: Energiekosten bei spanenden Werkzeugmaschinen

# Energiebündel auf dem Prüfstand



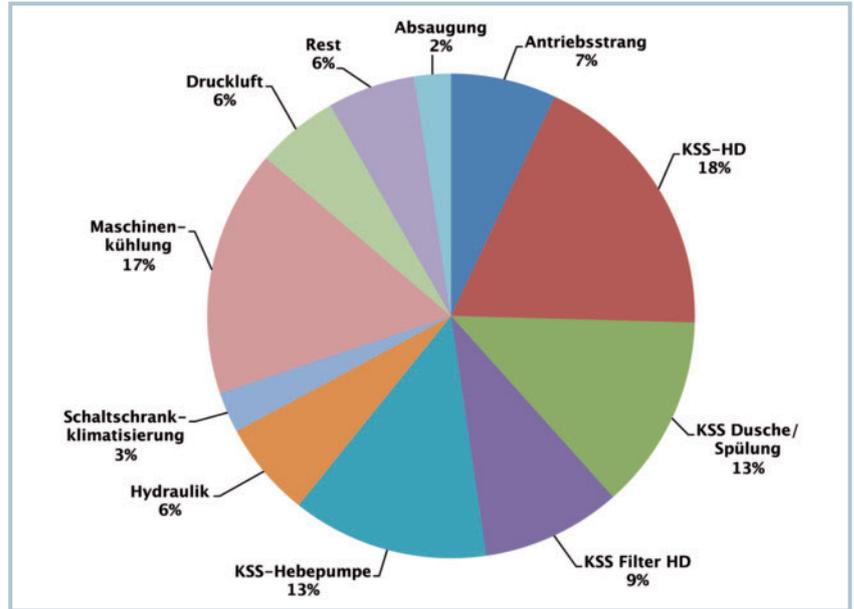
Die MAG XS 211 dient als Demonstratormaschine im Forschungsprojekt MAXIEM (Maximierung der Energieeffizienz von Werkzeugmaschinen)

Es tut sich einiges beim Thema Energie: Die Europäische Kommission stellt derzeit den Energieverbrauch von Werkzeugmaschinen auf den Prüfstand. Große Unternehmen haben Energie- und Medienverbrauchsabfragen in die Lastenhefte aufgenommen. Hersteller haben den Verbrauch ihrer Maschinen analysiert und setzen Sparmaßnahmen um. Und nicht zuletzt haben die Lieferanten von Funktionsmodulen wie Hydraulik oder Kühlung ihr Spektrum um effizientere Modelle ergänzt.

VON STEFAN ROTHENBÜCHER UND BENJAMIN KUHRKE

→ Mitarbeiter des Instituts für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) haben sich vorgenommen, dem Energieverbrauch einer spanenden Werkzeugmaschine auf den Grund zu gehen. Die ausgewählte ›Testmaschine‹ ist ein modernes Bearbeitungszentrum, das vorwiegend als Systemmaschine in agilen Fertigungslinien zur Fertigung von Powertrain-Komponenten wie zum Beispiel Zylinderköpfen, Motorblöcken und Getriebegehäusen eingesetzt wird.

Bild 1 zeigt, dass die Energiekosten rund um die Kühlschmierstoffversorgung mit über 50 Prozent den mit Abstand größten Anteil ausmachen. Die drei Niederdruckpumpen zur Dusche/Spülung im Vorlauf zum Filter der Hochdruckpumpe und die Hebepumpe verbrauchen gemeinsam rund ein Drittel der Energiekosten, während die Hochdruckpumpe mit 18 Prozent der größte Einzelverbraucher ist. Danach folgen die Kühlaggregate, wobei der Rückkühler zur Spindel und Hydraulikversorgung mit 17 Prozent einen deutlich höheren Anteil als das Schaltschrankklimatisierungsgerät mit drei Prozent hat. Der übrige



1 Prozentualer Jahresenergieverbrauch der Einzelkomponenten bei einer repräsentativen 3-Schicht-Serienfertigung

Bedarf von rund einem Drittel verteilt sich auf die Hydraulik, den Ölnebelabscheider, die Druckluft und den Antriebsstrang.

Die auf dem Titelbild gezeigte Maschine dient im Forschungsprojekt MAXIEM (Maximierung der Energieeffizienz von Werkzeugmaschinen) als Demonstrator. Ein Konsortium aus >>>

»» Anwendern, Maschinen-, Komponentenherstellern und der Forschung untersucht daran, wie sich der Energieverbrauch in den verschiedenen Betriebszuständen sowohl durch Hardware-Umbauten aber auch durch intelligente Maschinensoftware reduzieren lässt. Die Ergebnisse werden an einem Gemeinschaftsstand auf der AMB 2010 unter dem Motto »Innovationstour Metallbearbeitung – Trends von morgen« zu sehen sein.

### Maschinen- und Funktionsmodulhersteller nehmen die Herausforderung an

Ein großer Teil des jährlichen Energiebedarfs ist darauf zurückzuführen, dass Maschinen in ungeplanten Zeiten wie einer freien Schicht und dem Wochenende, aber auch bei Fertigungsstillständen in voller Betriebsbereitschaft verbleiben. Die anfallende Grundlast wird durch die Nebenaggregate sowie den in Regelung belassenen Antrieben dominiert und liegt bei allen bisher vom PTW untersuchten Bearbeitungszentren im mittleren bis hohen einstelligen Kilowattbereich. Andreas Jenke, Leiter des Branchenvertriebs für Werkzeugmaschinen und Automotive bei der Bosch Rexroth AG, ist sich der Problematik bewusst. »Im Rahmen unseres 4EE-Konzepts bieten wir dem Maschinenhersteller deshalb die Steuerungsfunktion Standby-Manager an. Damit können einzelne Komponenten der Werkzeugmaschine durch frei konfigurierbare Ereignisse wie zum Beispiel Teilemangel oder Pausenzeiten gezielt in einen energiesparenden Modus geschaltet werden. Auf diese Weise werden enorme Einsparungen erzielt.«

Zur Senkung der Leistungsaufnahme in bearbeitungsfreien Zeiten wurde in der Demonstratormaschine zusammen mit Bosch Rexroth der Standby-Manager implementiert (Bild 2). Die Maschine schaltet sich bei bestimmten Ereignissen nach einer gewissen Zeitspanne selbstständig in einen verbrauchsärmeren Zustand. Ein solches Ereignis kann dabei von der Maschine selbst erzeugt werden (zum Beispiel länger andauernde Inaktivität) oder von extern kommen (zum Beispiel Teilemangel, Schichtende). Die Zeitspanne, bis die Maschine in den Standby-Modus wechselt, kann vom Hersteller oder optional vom Betreiber frei gewählt werden. Die prognostizierte jährliche Energieeinsparung durch die Standby-Schaltung beträgt an der Demonstratormaschine für das Profil 3-Schicht-Serienfertigung circa 25 MWh (23 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs).

### Maschinentemperierung mit geringem Energieeinsatz

Nahezu jede Werkzeugmaschine benötigt Kühlleistung in Form von Kaltwasser, das von einem Rückkühler bereitgestellt wird. Hauptspindeln und Lineardirektantriebe



2 Standby-Manager von Bosch Rexroth in der Demonstratormaschine MAG XS211

werden beispielsweise wassergekühlt, um auch bei hohen Leistungen nicht zu überhitzen und um die thermische Längendehnung dieser genauigkeitsrelevanten Baugruppen möglichst gering zu halten. Auch das Maschinenbett und der Kühlschmierstoff werden häufig temperiert, um eine hohe Bearbeitungsqualität sicherstellen zu können. Hydrauliksysteme und der Schaltschrank sind weitere Beispiele für die Einsatzgebiete von Kühlsystemen.

Ein entscheidender Faktor bei der Auslegung einer energieeffizienten Maschinentemperierung auf Wasserbasis ist die Genauigkeit der Temperaturregelung. Für Standard-Bearbeitungszentren reicht zu meist eine Hysterese von  $\pm 1,5$  Grad Celsius aus. Der Verdichter des Rückkühlers kann dann sehr effizient, weil getaktet betrieben werden. Das heißt, er läuft eine gewisse Zeit unter Vollast, bis die Temperatur unter das Minimum der Hysterese fällt, und kann dann so lange ausgeschaltet bleiben, bis die Temperatur wieder das Maximum überschreitet. Bei hochpräzisen Anwendungen, zum Beispiel in Schleif- oder Bearbeitungszentren für das Finishen, ist bei der Temperaturregelung eine Hysterese von  $\pm 0,5$  Grad notwendig. Ein taktender Betrieb ist dann in der Regel aufgrund von Restriktionen der Tankgröße nicht mehr möglich. Die häufigen Schaltvorgänge würden sich negativ auf die Lebensdauer des Verdichters auswirken und werden daher vom Verdichterhersteller auf circa 10 bis 12 Mal pro Stunde begrenzt. Stand der Technik bei diesen genaueren Anwendungen ist deshalb die Temperaturregelung über einen sogenannten Heißgas-Bypass. Der Verdichter ist dabei als Dauerläufer ausgeführt, das heißt, er verrichtet kontinuierlich seine maximale Arbeit. Im Teillastbetrieb, wenn nicht die maximale Kühlleistung benötigt wird, öffnet das Bypassventil und spritzt das ver-

### i INDUSTRIEUNTERNEHMEN

**Bosch Rexroth AG**  
97816 Lohr  
→ AMB Stuttgart Halle 6, A 72

**K.H. Brinkmann GmbH & Co. KG**  
58791 Werdohl  
→ AMB Stuttgart Halle 6, C 80

**Daimler AG**  
70546 Stuttgart

**Grob-Werke GmbH & Co. KG**  
87719 Mindelheim  
→ AMB Stuttgart Halle 5, C 38

**Handte Umwelttechnik GmbH**  
78532 Tuttlingen  
→ AMB Stuttgart Halle 5, D 32

**Hydac International GmbH**  
66280 Sulzbach  
→ AMB Stuttgart Halle 4, C 33

**Knoll Maschinenbau GmbH**  
88348 Bad Saulgau  
→ AMB Stuttgart Halle 5, D 32

**MAG Europe GmbH**  
70565 Stuttgart  
→ AMB Stuttgart Halle 4, C 42

**Rittal GmbH & Co. KG**  
35745 Herborn  
→ AMB Stuttgart Halle 4, A 71

dichtete, heiße Kältemittel am Verflüssiger vorbei direkt vor dem Verdampfer ein. Die überschüssige Kühlleistung wird somit aktiv vernichtet, sodass Kühlsysteme mit Heißgas-Bypass im Teillastbereich eine sehr geringe Energieeffizienz besitzen.

Bei der genauen Temperaturregelung gibt es für die Werkzeugmaschine zwei recht neue Alternativen, mit denen die Effizienz vor allem im Teillastbereich gesteigert werden kann. Beim Hersteller von Schaltschrank- und Klimatisierungssystemen Rittal in Herborn setzt man auf frequenzgeregelter Verdichter (Bild 3, links). »Rittal präsentiert zur AMB seine neue, modulare Rückkühlerserie TopTherm Chiller erstmals mit Inverter-Technologie. Je nach Anwendung lassen sich damit bis zu 70 Prozent Energiekosten einsparen. Der Beginn der Serienfertigung ist für 2011 geplant. Wir gehen bei Geräten der mittleren Leistungsklasse von einer Amortisationszeit von unter zwei Jahren aus«, sagt Ralf Schneider, Leiter Produktmanagement Klimatisierung bei Rittal.

#### **i** INSTITUT

**PTW – Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen**, 64287 Darmstadt  
Tel. 06151 16-2156, Fax 06151 16-3356

→ [www.ptw.tu-darmstadt.de](http://www.ptw.tu-darmstadt.de)

→ [www.maxiem.eu](http://www.maxiem.eu)

→ **AMB Stuttgart Halle 5, D 32**

Der Einsatz eines Digital-Scroll-Verdichters ist die andere Lösung. Bei diesem Funktionsprinzip läuft der Verdichter auch dauerhaft mit konstanter Drehzahl. Über ein Magnetventil und die mechanische Trennung der orbitierenden Verdichterspiralen kann jedoch die Kompression variiert werden, wodurch sich mithilfe einer pulsweitenmodulierten Ansteuerung eine Leistungsregelung von 10 bis 100 Prozent verwirklichen lässt. Als ein führendes Unternehmen der Fluidtechnik setzt die Firma Hydac bei ihren Kompressor-Kühlsystemen verstärkt auf diese Technologie (Bild 3, rechts). Abhängig von der maximalen Kühlleistung und dem Lastzustand der Maschine lässt sich so im Teillastbetrieb bis zu 30 Prozent, im Standby-Betrieb sogar noch mehr Energie einsparen. »Unsere Kunden nehmen diese energieeffizientes Kühlsystem in der Regel nach weniger als einem Jahr amortisiert haben«, sagt Peter Hirsch, Vertriebsleiter Kompressor-Kühlsysteme bei Hydac.

#### **Hochdruck-KSS bedarfsgerecht einsetzen**

KSS-Hochdruckpumpen werden beim Bohren und Fräsen bei Werkzeugen mit innerer Kühlmittelzufuhr (IKZ) durch die Hauptspindel zur Kühlung, Schmierung und zum Spanabtransport eingesetzt. Bei herkömmlichen Systemen wird eine Schraubenspindelpumpe über einen Motor mit nahezu konstanter Drehzahl direkt am Netz betrieben und fördert ihren gesamten >>>



**3** Modulare Rückkühlerserie TopTherm mit frequenzgeregelten Verdichtern und Kälteleistungen 8 bis 40 kW von Rittal (links) und Kompressor-Kühlsystem mit Digital-Scroll-Verdichter erhältlich in den Standardbaugrößen 7 bis 45 kW von Hydac (rechts)

»» Volumenstrom gegen ein fest eingestelltes Druckregelventil. Die elektrische Leistungsaufnahme ist dabei unabhängig vom tatsächlich benötigten Volumenstrom konstant, wodurch vor allem bei Werkzeugen mit kleinen Kühlkanaldurchmessern hohe Differenzen zwischen eingesetzter elektrischer Leistung und tatsächlich benötigter Fluidleistung entstehen. Sparpotenziale liegen deshalb hauptsächlich in der Bereitstellung eines dem Werkzeug beziehungsweise dem Kühlkanaldurchmesser angepassten Volumenstroms. Für viele Prozesse sind auch Druckabsenkungen möglich, wodurch sich weitere Energieeinsparungen ergeben.

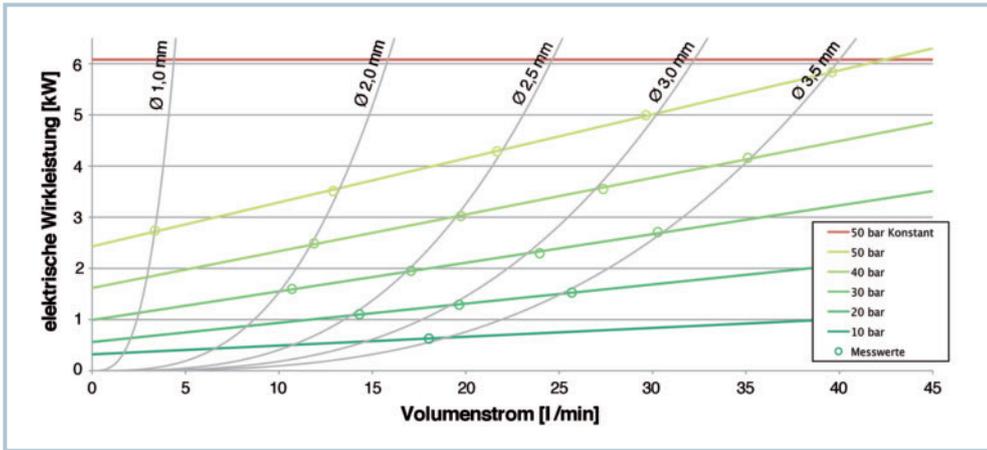
Um die genannten Einsparpotenziale verwirklichen zu können, bietet sich der Einsatz eines drehzahl- oder druckgeregelten Pumpenmotors an. Die Anlage muss dazu um einen Frequenzumrichter zur drehzahlvariablen Ansteuerung des Motors sowie um einen analogen Drucksensor zur Erfassung des aktuellen Drucks erweitert werden. Zudem muss in der Steuerung die Möglichkeit geschaffen werden, einen Drucksollwert über das NC-Programm vorzugeben. Die Regeldifferenz aus Druck-Sollwert und Druck-Istwert wird einem PI-Regler zugeführt, dessen Ausgang einem Drehzahlsollwert entspricht, der wiederum direkt an den Frequenzumrichter übertragen wird. Knoll Maschinenbau, Bad Saulgau, ist als Berater am MAXIEM-Projekt beteiligt. Heiko Stern, Spezialist für Schraubenspindelpumpen bei Knoll, beschreibt die derzeitige Marktsituation: »Die Nachfrage nach frequenzgeregelten KTS-Pumpen hat deutlich zugenommen und wird sich auch weiter steigern. Namhafte Automobilhersteller und deren Zulieferer schreiben mittlerweile in ihren Pflichtenheften frequenzgeregelte Antriebe vor. Viele Anwender sind bereit, an bestehenden Anlagen zu prüfen, ob und wann sich eine Nachrüstung von frequenzgeregelten KTS-Pumpen rechnet.« Knoll bietet hierfür mit dem E-Check-Programm eine Möglichkeit, um an bestehenden Maschinen das Energieeinsparpotenzial exakt zu messen und beim Kunden vor Ort aussagefähig zu sein. In Bild 4 ist das Leistungskennlinienfeld für eine beispielhafte

Umsetzung an der Demonstratormaschine mit einer 7,5-kW-Hochdruckpumpe dargestellt. Der Vergleich bei 50 bar ergibt, dass sich durch die bedarfsgerechte Ansteuerung bei kleinen Volumenströmen Einsparungen von über 50 Prozent erzielen lassen. Durch eine Druckabsenkung können weitere Einsparungen erzielt werden, sofern dies der Prozess zulässt. Die absoluten Einsparungen in den verschiedenen Betriebspunkten lassen allerdings noch keine Rückschlüsse auf die Wirtschaftlichkeit zu. Eine Amortisationsrechnung, die die höheren Anfangsinvestitionen den Einsparungen bei den Stromkosten im tatsächlichen Nutzungsprofil gegenüberstellt, schafft hier Transparenz. Als Profil wird eine 3-Schicht-Serienfertigung angenommen, bei der in 33 Prozent der Bearbeitungszeit Hochdruck-KSS eingesetzt wird. Für die zeitliche Verteilung der Arbeitspunkte der Hochdruckpumpe wird Folgendes angenommen:

- 50 Prozent der Bearbeitungen mit 20 bar und 10 l/min
- 30 Prozent der Bearbeitungen mit 30 bar und 40 l/min
- 10 Prozent der Bearbeitungen mit 20 bar und 60 l/min
- 10 Prozent der Bearbeitungen mit 60 bar und 15 l/min.

Der Energieverbrauch pro Jahr sinkt unter diesen Annahmen von 15,3 MWh bei der Konstantpumpe um 56 Prozent auf 6,7 MWh bei der drehzahlgeregelten Pumpe. Bei einem Strompreis von 10 Cent/kWh entspricht dies einer jährlichen Einsparung von 860 Euro. Unter Berücksichtigung der verhältnismäßig geringen Mehrinvestition für den Frequenzumrichter und den Drucksensor ergibt sich somit eine kurze Amortisationszeit, die je nach Anschaffungspreis bei einem bis eineinhalb Jahren liegt.

Zu den direkten Einsparungen kommen noch Sekundäreffekte hinzu, die hier noch nicht berücksichtigt wurden und die zu einer weiteren Verkürzung der Amortisationszeit führen. Durch die bedarfsgerechte Bereitstellung des Volumenstroms sinkt auch das Rückfördervolumen, das heißt: Die Hebepumpe, die den KSS aus dem Späneförderer zurück in den Tank fördert, weist geringere Einschaltzeiten und damit einen geringeren Energieverbrauch



4 Leistungskennlinienfeld der drehzahlregulierten Hochdruckpumpe im Vergleich zur Konstantpumpe und Leistungs-Anlagenkennlinien von Werkzeugen mit unterschiedlichen Kühlkanaldurchmessern

auf. Durch die bedarfsgerechte Regelung ohne Überströmmenge über das Druckbegrenzungsventil sinkt der Wärmeeintrag in das Fluid, wodurch die erforderliche Kühlleistung geringer ist. In erster Näherung entspricht die eingesparte Kühlleistung der bei der Hochdruckpumpe eingesparten elektrischen Energie.

Aber nicht nur in der optimalen Ansteuerung durch Frequenzumrichter, sondern auch in der Steigerung des Pumpenwirkungsgrads liegen noch enorme Einsparpotenziale. Dr. Dirk Wenderott, Leiter der Produkttechnik und Anwendung beim Pumpenspezialisten Brinkmann, merkt dazu an: »Bei unseren neuen Schraubenspindelpumpen für Hochdruckanwendungen konnten wir den Wirkungsgrad durch ein neues Verfahren inner-

halb nur einer Pumpengeneration um 40 Prozent steigern. Im Niederdruckbereich gelingt uns eine Steigerung des Maximalwirkungsgrads um circa fünf Prozent. Die Verbesserungen im Teillastbereich sind hier höher und liegen bei circa 25 Prozent, wodurch wir auslegungstolerante Systeme anbieten können.«

**Absaugung: Erfassungselemente optimieren**

Im Beispiel hat der Ölnebelabscheider lediglich einen Anteil von drei Prozent. Das liegt zum einen daran, dass die untersuchte Maschine dezentral abgesaugt wird, wodurch die Rohrleitungsverluste gering sind, und dass sie einen kleinen Arbeitsraum hat. Darüber hinaus wurde die elektrische Leistungsaufnahme des >>>

»» Ventilators berücksichtigt. Nicht in die Rechnung eingegangen sind die Kosten, die durch die Hallenzu- und -abluft entstehen, die noch mal den gleichen Anteil ausmachen können. In der Ölnebelabscheidung liegen die Potenziale in der Optimierung der Erfassungselemente und bei zentral versorgten Maschinen in einer bedarfsgerechten Regelung. Elemente wie etwa das Spänetor von Handte Umwelttechnik können die abzusaugende Luftmenge bei jeder Maschine um bis zu 30 Prozent reduzieren. Bei zentral angeschlossenen Maschinen ermöglicht der Handte Stream über eine elektrisch betriebene Regelklappe eine Volumenstromregelung in Abhängigkeit des Bearbeitungszyklus. Jakob Handte von Handte Umwelttechnik merkt dazu an, dass sich alles in allem rund 40 Prozent Abluftmenge pro Jahr einsparen ließen. Zum Einsatz kommt das System bei Kunden, die mehr als vier Maschinen betreiben. Es sei aber deutlich zu spüren, dass die Nachfrage steige. Zum Beispiel bei der Daimler AG werden derartige Systeme bei der Planung seit diesem Jahr stets mitbetrachtet.

### Energieeffizienz – auf den Betreiber kommt es an

Die Funktionsmodulhersteller konnten die Energieeffizienz ihrer Produkte in der Vergangenheit kontinuierlich verbessern, und die Maschinenhersteller sind bereit, diese Techniken einzusetzen. »Bei allen Angeboten wird evaluiert, ob eine Drehzahlregelung der KSS-Hochdruckpumpe wirtschaftlich ist. Wir bieten diese Technik an. Die Entscheidung, inwieweit die höhere Investition für Energiespartechiken in Kauf genommen wird, liegt aber beim Kunden«, betont Peter Steger von Grob. Inwiefern sich die Trends

durchsetzen werden, hängt davon ab, ob die notwendige Transparenz zur objektiven Beurteilung geschaffen werden kann. Dass diese Reise bereits begonnen hat, zeigen die Anforderungen der großen Automobilisten, bei denen Energiekosten bereits Bestandteil des Vergabeprozesses sind. »Die Energiekosten von Maschinen und Anlagen werden heute bei jeder Angebotsbeurteilung berücksichtigt«, sagt Frank Erdle von der Daimler AG. Auch von Seiten des Gesetzgebers sind Impulse zu erwarten. Die EU-Kommission hat zu Beginn des Jahres eine Studie im Rahmen der EuP-Richtlinie (2005/32/EG) vergeben, die die technischen Möglichkeiten und das wirtschaftliche Umfeld von Werkzeugmaschinen analysieren soll, um Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs vorzuschlagen. Parallel dazu arbeitet der europäische Werkzeugmaschinenverband Cecimo an einem Konzept zur freiwilligen Selbstverpflichtung, das ein Monitoring der Verbesserungen der jeweiligen Maschinenhersteller vorsieht. ■

Artikel als PDF unter [www.metall-infocenter.de](http://www.metall-infocenter.de)

Suchbegriff → **WB110278**

---

**Dipl.-Ing. Stefan Rothenbücher** und  
**Dipl.-Wirtsch.-Ing. Benjamin Kuhrke**

sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der Technischen Universität Darmstadt

→ [rothenbuecher@ptw.tu-darmstadt.de](mailto:rothenbuecher@ptw.tu-darmstadt.de)

→ [kuhrke@ptw.tu-darmstadt.de](mailto:kuhrke@ptw.tu-darmstadt.de)