

# Energieeffizienz

## spanender Werkzeugmaschinen

Eine moderne Produktionsmaschine mittlerer Größe verbraucht im Jahr etwa so viel Strom wie 12 Einfamilienhäuser. Dass das nicht sein muss, konnte durch Forscher der TU Darmstadt bereits eindrucksvoll unter Beweis gestellt werden. Die Möglichkeiten zur Einsparung sind vielfältig, haben bis dato jedoch kaum jemanden interessiert. Damit sich das ändert, wird derzeit eine Software entwickelt, die die Prognose und Simulation von Energie- und Stoffverbräuchen ermöglicht. Ziel ist es, durch größtmögliche Transparenz eine solide Entscheidungsgrundlage für Investitionen in Energiesparmaßnahmen zu schaffen.

### ► Energy efficiency of cutting machine tools

*A modern medium-sized machine tool consumes approximately 12 times more electrical energy than a one-family house. That there is great optimization potential has already been impressively demonstrated by researchers at the TU Darmstadt. The measures to gain savings are diverse, but so far they are not recognized by most of the involved parties. To change this, currently software is developed that allows the prediction and simulation of energy and material consumption. The aim is to provide maximum transparency for a solid decision basis for investments in energy saving measures.*

#### Eberhard Abele, Benjamin Kuhrke, Stefan Rothenbücher

Die Senkung des Energiebedarfs durch die Erhöhung der Energieeffizienz ist eine der dringlichsten Herausforderungen unserer Zeit. Während in der Vergangenheit vor allem im Consumer-Bereich und dort zuvorderst bei weißer Ware wie Kühlschränken oder Waschmaschinen erhebliche Effizienzsteigerungen erzielt werden konnten, müssen sich seit einiger Zeit auch vermehrt Hersteller von Produktionsmaschinen mit dieser Thematik auseinandersetzen.

Auch wenn die Energiekosten spanender Werkzeugmaschinen bei der Beschaffung anderen Kriterien wie zum Beispiel den Investitionskosten oder der Zuverlässigkeit noch deutlich untergeordnet sind, hat sich in den vergangenen Jahren viel verändert. Die Europäische Kommission stellt derzeit den Energieverbrauch von Werkzeugmaschinen auf den Prüfstand. Große Unternehmen haben Energie- und Medienverbrauchsabfragen in ihre Lastenhefte mit aufgenommen. Maschinenhersteller haben den Energieverbrauch ihrer Maschinen analysiert und setzen bereits erste Energiesparmaßnahmen um. Nicht zuletzt die Lieferanten von Komponenten wie der Hydraulik oder der

Maschinenkühlung haben die aktuellen Entwicklungen aufgenommen und ihr Spektrum um effizientere, bedarfsgerecht geregelte Funktionsmodule ergänzt.

#### Den Energiefressern auf der Spur

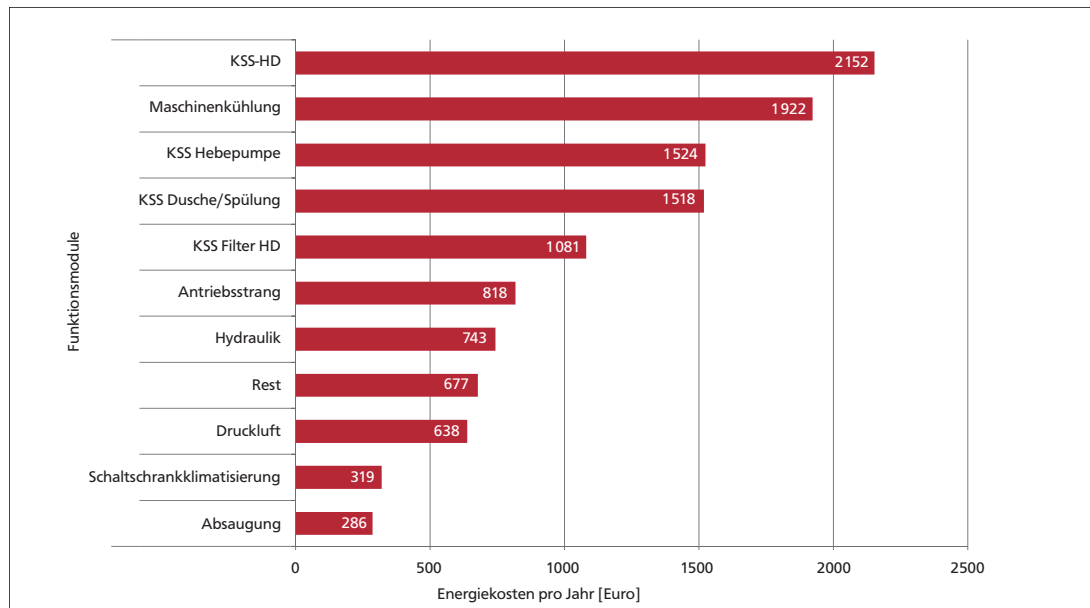
Im Dezember 2008 startete das Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der TU Darmstadt das vom BMWi geförderte Projekt „Maxiem – Maximierung der Energieeffizienz von Werkzeugmaschinen“ mit dem Anspruch, die Grundlagen auf dem Gebiet der Energieeffizienz spanender Werkzeugmaschinen auf breiter Front voranzutreiben. Im Mittelpunkt des Projektes steht die Identifikation und Umsetzung von Optimierungsmaßnahmen an einer Demonstratormaschine.

Ein Konsortium aus Anwendern, Maschinen-, Komponentenherstellern und universitärer Forschung untersucht daran, wie sich der Energieverbrauch in den verschiedenen Betriebszuständen sowohl durch Hardware-Umbauten aber auch durch intelligente Maschinensoftware reduzieren lässt. Dazu wurde das Bearbeitungszentrum XS211 des Projektpartners MAG Powertrain definiert, welches vorwiegend als Systemmaschine in agilen Fertigungslinien in der Automobilindustrie zur Fertigung von Powertrain-Komponenten wie zum Beispiel Zylinderköpfe, Motorblöcke und Getriebegehäuse eingesetzt wird. Zunächst wurde die Maschine einer umfassenden Ist-Analyse unterzogen.

Aus Abbildung 1 wird ersichtlich, dass vor allem die Energiekosten rund um die Kühlschmierstoffversorgung (KSS) mit über 50 % den mit Abstand größten Anteil ausmachen. Die drei Niederdruckpumpen zur Kühlung und Schmierung des Bearbeitungsprozesses und zur Spülung des Arbeitsraumes, im Vorlauf zum Filter der Hochdruckpumpe und die Hebebombe verursachen gemeinsam rund ein Drittel der Energiekosten während die Hochdruckpumpe mit 18 % der größte Einzelverbraucher ist. Danach folgen die Kühlaggregate, wobei der Rückkühler zur Spindel und Hydrauliktemperierung mit 17 % einen deutlich höheren Anteil hat als das Schaltschrankklimatisierungsgerät mit 3 %. Der übrige Bedarf von rund einem Drittel verteilt sich auf die Hydraulik, den Ölnebelabscheider, die Druckluft und den Antriebsstrang.



**Abbildung 1**  
Jahresenergiekosten  
der einzelnen  
Funktionsmodule  
der Demonstrator-  
maschine  
MAG XS 211.



### In Pausenzeiten Energie sparen

Ein großer Teil des jährlichen Energiebedarfs wird dadurch verursacht, dass Maschinen in ungeplanten Zeiten wie einer freien Schicht und dem Wochenende aber auch bei Fertigungsstillständen aus zum Beispiel organisatorischen Gründen in voller Betriebsbereitschaft verbleiben. Die anfallende Grundlast wird in der Regel durch die Nebenaggregate sowie die in Regelung belassenen Antriebe dominiert und liegt bei allen bisher vom PTW untersuchten Bearbeitungszentren im mittleren bis hohen einstelligen Kilowattbereich.

Zur Senkung der Leistungsaufnahme in bearbeitungsfreien Zeiten wurde in der Maxiem-Demonstratormaschine in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Bosch Rexroth auf der Steuerung ein Standby-Manager implementiert. Die Maschine wird dadurch in die Lage versetzt, einzelne Funktionsmodule bei Eintritt definierter Ereignisse selbstständig in einen energieärmeren Zustand zu schalten. Ereignisse können dabei von der Maschine selbst erzeugt werden (zum Beispiel bei länger andauernder Inaktivität) oder von

einem externen Signal ausgelöst werden. Externe Ereignisse können beispielsweise ein von einer Beladeeinrichtung gemeldeter Teilemangel oder der Befehl von einer übergeordneten Fertigungssteuerung zum Schichtende sein. Die Zeit, nach der die Maschine in den Standby-Modus wechselt, kann dabei frei parametrierbar sein. Die prognostizierte jährliche Energieeinsparung durch die Standby-Schaltung beträgt an der Demonstratormaschine für das Nutzungsprofil 3-Schicht-Serienfertigung ca. 25 MWh (23 % des Gesamtenergieverbrauchs).

### In Nebenaggregaten schlummern Effizienzpotenziale

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 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. Einsparpotenziale liegen deshalb hauptsächlich in der bedarfsgerechten Bereitstellung eines dem Werkzeug bzw. dem Kühlkanaldurchmesser angepassten Volumenstroms.

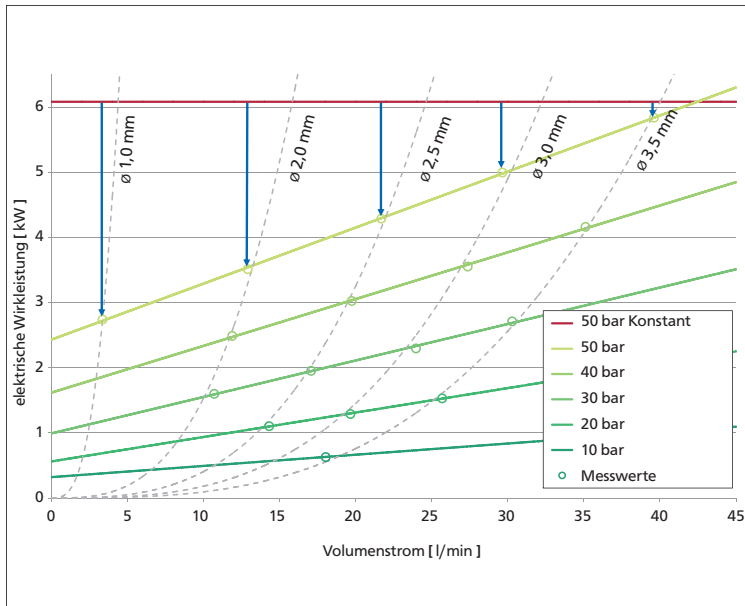
Um die genannten Einsparpotenziale verwirklichen zu können bietet sich der Einsatz eines drehzahl- bzw. druckgeregelten Pumpenmotors

Institut für Produktionsmanagement,  
Technologie und  
Werkzeugmaschinen (PTW)

Professor Dr.-Ing. Eberhard Abele  
Tel. 06151/16-2156  
E-Mail: abele@ptw.tu-darmstadt.de

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Benjamin Kuhrke  
Tel. 06151/16-6619  
E-Mail: kuhrke@ptw.tu-darmstadt.de

Dipl.-Ing. Stefan Rothenbücher  
Tel. 06151/16-5480  
E-Mail: rothenbuecher@ptw.tu-darmstadt.de  
[www.ptw.tu-darmstadt.de](http://www.ptw.tu-darmstadt.de)



**Abbildung 2** Leistungskennlinienfeld der drehzahlregulierten Hochdruckpumpe im Vergleich zur Konstantpumpe und Leistungs-Anlagenkennlinien von Werkzeugen mit unterschiedlichen Kühlkanaldurchmessern.

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. Weiterhin muss in der Steuerung die Möglichkeit geschaffen werden, einen Drucksollwert über das NC-Programm vorgeben zu können. Die Regeldifferenz aus Druck-Sollwert und Druck-Istwert wird einem PI-Regler zugeführt, dessen Ausgang einem Drehzahl Sollwert entspricht, der wiederum direkt an den Frequenzumrichter übertragen wird.

In Abbildung 2 ist das Leistungskennlinienfeld für eine beispielhafte Umsetzung an der MAXIEM-Demonstratormaschine mit einer 7,5 Kilowatt Hochdruckpumpe dargestellt. Der Vergleich der Leistungsaufnahmen der Konstantpumpe und der

**Literatur**

Abele, Eberhard; Kührke, Benjamin; Rothenbücher, Stefan: Entwicklungstrends zur Erhöhung und Bewertung der Energieeffizienz spanender Werkzeugmaschinen; in: Neugebauer, R. (Hrsg.): Energieeffiziente Produkt- und Prozessinnovationen in der Produktionstechnik, Verlag Wissenschaftliche Scripten, Chemnitz, 2010.

Rothenbücher, Stefan; Kührke, Benjamin: Energiekosten bei spanenden Werkzeugmaschinen: Energiebündel auf dem Prüfstand, in: Werkstatt und Betrieb, Carl Hanser Verlag, München, Ausgabe 143 (9), 2010.

drehzahlregulierten Pumpe bei 50 bar, gekennzeichnet durch die blauen Pfeile, zeigt, dass sich durch die bedarfsgerechte Ansteuerung bei kleinen Volumenströmen Einsparungen von über 50 % erzielen lassen. Durch die Möglichkeit der Druckabsenkung können weitere Einsparungen erzielt werden, sofern dies der Prozess zulässt.

Der Energieverbrauch pro Jahr sinkt unter Zugrundelegung praxisnaher Nutzungsprofile von 15,3 MWh bei der Konstantpumpe um 56 % auf 6,7 MWh bei der drehzahlregulierten Pumpe. 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.

**Entscheidungsgrundlage durch Transparenz**

Welche Einsparpotenziale bei Produktionsmaschinen bestehen, konnte in detaillierten Analysen gezeigt werden. Da diese in der Regel höhere Investitionen bedeuten, kommt es jetzt vor allem darauf an, den Betreibern die Energiekosten transparent darstellen zu können, um eine geeignete Entscheidungsgrundlage bereitzustellen. Darüber hinaus muss der bereits begonnene Umdenkungsprozess in den Unternehmen weg von den rein Anschaffungskosten getriebenen Investitionen hin zu auf Lebenszykluskosten basierenden Entscheidungen weiter verfolgt werden. Hierzu wird am PTW derzeit eine Software entwickelt mit der der Energieverbrauch spanender Werkzeugmaschinen sehr genau simuliert und prognostiziert werden kann. Das Feedback aus der Industrie ist diesbezüglich sehr gut, wird doch auch hier der eingeschlagene Weg deutlich befürwortet.



**Eberhard Abele** ist seit 2000 Professor für Produktionstechnik an der TU Darmstadt und Leiter des Instituts für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW).



**Benjamin Kührke** ist seit 2005 wissenschaftlicher Mitarbeiter am PTW. Seit 2008 leitet er die Forschungsgruppe Umweltgerechte Produktion.



**Stefan Rothenbücher** ist seit 2006 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Forschungsgruppe Werkzeugmaschinen und Komponenten des PTW.