

Maßnahmenpaket verringert Energiebedarf um 30 %

## Energiesparprogramm für Werkzeugmaschinen

Im Fokus des Verbundprojekts „NCplus“ stand die Entwicklung von Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs von Werkzeugmaschinen. Maschinenkomponenten sollten bedarfsgerecht angesteuert und abgeschaltet werden. Ein Schwerpunkt war die Optimierung der verbrauchsintensiven peripheren Komponenten und Aggregate. Eine Prototypmaschine belegt den Erfolg der Maßnahmen mit einem Energieeinspareffekt von insgesamt 30 %.

**D**as Potential zur Steigerung der Effizienz von Werkzeugmaschinen ist hoch. Eine durchschnittliche Dreh-, Fräs- oder Schleifmaschine stößt jährlich indirekt so viel CO<sub>2</sub> wie zehn Pkw aus. Dabei verursachen Energie und Medien typischerweise zwischen 20 % und 40 % der Betriebsausgaben. Und nicht zuletzt sorgen die steigenden Energiepreise dafür, dass Effizienz zunehmend zum Marketingargument der Maschinenhersteller wird.

Den meisten Anwendern ist es bisher nicht möglich, die Energieeffizienz ihrer Maschinen einzuschätzen, denn es fehlen objektive, standardisierte Vergleichsmöglichkeiten. Mit der Energieoptimierung von Werkzeugmaschinen beschäftigten sich drei der insgesamt 31 Verbundprojekte des vom BMBF unterstützten Förderschwerpunkts „Ressourceneffizienz in der Produktion“. Im Verbundprojekt NCplus (Prozess- und wert-

schöpfungsorientiert gesteuerte Werkzeugmaschine) arbeiteten neun Partner aus den Bereichen Produktion, Forschung und Softwareentwicklung über drei Jahre hinweg zusammen. Ziel der Forschungsaktivitäten war ein Energiesparprogramm für Werkzeugmaschinen, **Bild 1** – mit Fokus auf einer variantenreichen Fertigung, Universalmaschinen und kleinen bis mittleren Losgrößen.

### Versuchsprogramm

Die Grundlagen für die nachfolgenden Forschungsaktivitäten wurden durch umfangreiche Messungen an zwei exemplarisch ausgewählten Maschinen gelegt. Untersucht wurden eine Portalmaschine „DMU340P“ sowie ein Horizontal-Bearbeitungszentrum (BAZ) „DMC80H“, bei denen im laufenden Produktionsbetrieb etwa zwei Dutzend Datenreihen messtechnisch erfasst und

protokolliert wurden. Neben der elektrischen Leistung sämtlicher Komponenten wurden die Positionen und Geschwindigkeiten der NC-Achsen sowie das Drehmoment und die Drehzahl der Frässpindel aufgezeichnet. Weiterhin wurden am Hydraulik-Aggregat, am Kühlaggregat und an der Kühlschmierstoff-Anlage Temperaturen, Drücke und Durchflüsse am Vor- und Rücklauf gemessen.

Die Auswertung der Messdaten ergab signifikante Einsparpotentiale durch eine Reihe von Maßnahmen. Im weiteren Projektverlauf konzentrierten sich die Partner deshalb auf die Schwerpunkte Maschinenkühlung, Kühlschmiermittel-Anlage, Antriebsachsen, Frässpindel und Energiemanagement durch die Steuerung, **Bild 2**. Überraschenderweise stellte sich heraus, dass das Hydraulik-Aggregat aufgrund der leckagefreien Ventile nur in geringem Maße Energie verbrauchte, sodass es bei ihm kein Einsparpotential mehr gab. Die Zerspanleistung und damit auch der Wirkungsgrad im Sinne der eigentlichen Anwendung liegen bei beiden untersuchten Maschinen bei etwa 30 %.

Ein sehr großer Anteil an der Gesamtenergie fließt in die Maschinenkühlung und die Hochdruckpumpe für Kühlschmiermittel. „Die Aggregate arbeiten oft autark, unabhängig vom Bedarf der Maschine. Sie verfügen nicht über prozessrelevante Informationen und können somit auch nicht auf die Anforderungen durch den Prozess reagieren“, fasst Verbundprojektkoordinator Dr. Thomas Garber von Gildemeister die Problemstellung zusammen.

### Maßnahmen zur Effizienzsteigerung

Eine der wirksamsten Maßnahmen bestand in der Entwicklung eines gere-



Bild 1

Bohrbearbeitung auf einer „DMC 100U“: Ziel der Forschungsaktivitäten im Projekt „NCplus“ war es, ein „Energiesparprogramm“ für Werkzeugmaschinen zu entwickeln. Bild: DMG

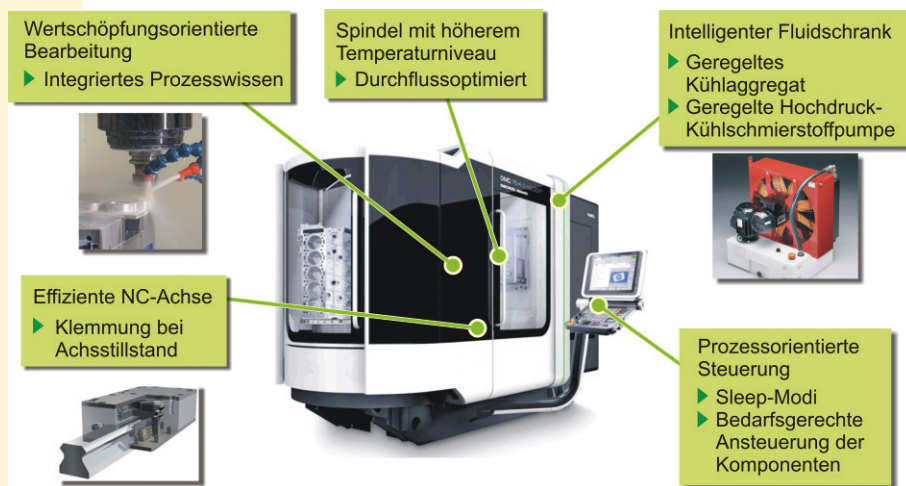


Bild 2

Die im Projekt untersuchten Maßnahmen betrafen unter anderem die Spindel, die Steuerung, den Kühlkreislauf und die Nebenaggregate.

Bild: IFW

## NCplus-Projektpartner

Die Innovationsplattform „Effizienzfabrik“ ([www.effizienzfabrik.de](http://www.effizienzfabrik.de)) sowie das Verbundprojekt NCplus ([www.ncplus.de](http://www.ncplus.de)) wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“ gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die NCplus-Projektpartner waren: Bosch Rexroth Electric Drives and Controls GmbH, Camaix GmbH, Chr. Mayr GmbH & Co. KG, Gildemeister AG (DMG), Franz Kessler GmbH, Hydac International GmbH, KME Germany AG & Co. KG, Leibniz Universität Hannover – Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) sowie perpendo Energie- und Verfahrenstechnik GmbH.

Weitere Informationen: Gildemeister Beteiligungen GmbH, Vera Wolters, Gildemeisterstr. 60, 33689 Bielefeld, Tel. 05205 / 74-0, Fax -3009, E-Mail: [vera.wolters@gildemeister.com](mailto:vera.wolters@gildemeister.com), Internet: [www.gildemeister.com](http://www.gildemeister.com)

gelten Luft-Wasser-Wärmetauschers als Ersatz für das Kompressor-Kühlaggregat. Durch die Drehzahlregelung des Lüfters wurde sichergestellt, dass auch bei steigender Umgebungstemperatur die Temperatur des Kühlmediums konstant bleibt. Durch diese Lösung entfallen die Verluste im Kompressor vollständig und der Lüfter verbraucht nur so viel Energie, wie für die Bearbeitung unbedingt erforderlich ist. Voraussetzung für den Einsatz dieses Kühlgeräts war allerdings, dass das Temperaturniveau des Kühlmediums angehoben wurde. Dazu kam eine neu entwickelte hocheffiziente Frässpindel zum Einsatz, die neben der Kühlung auf höherem Temperaturniveau auch über einen optimierten Asynchronmotor mit Kupferläufer und über größere Kühlkanäle verfügte, sodass das Kühlmedium mit weniger Druck und damit auch mit weniger Energieaufwand durch die Spindel gepumpt werden konnte.

Auch für die bedarfsgerechte Ansteuerung der Kühlschmierstoff-Pumpe erwies sich eine Drehzahlregelung als geeignete Lösung. Eine zusätzliche Energieeinsparung ergab sich zudem durch eine Volumenstrom-Regelung, durch die die Kühlschmierstoff-Menge anstelle des Drucks vorgegeben werden konnte. „In den meisten Fällen ist die Kühlschmierstoff-Menge der technologisch richtige Parameter für die Kühlung der Werkzeuge und für den Spänetransport, sodass die Volumenstrom-Regelung nicht nur Energie spart, sondern auch für den Prozess Vorteile bringt“, berichtet Garber.

Neben den großen Verbrauchern wurden aber auch die kleineren Energieverbraucher in der Maschine „unter die Lupe genommen“. Um die Stillstandsverluste der NC-Antriebe zu verringern, wurde eine sehr schnelle und spielfreie Bremse entwickelt, mit der die Achsen auch während der Bearbeitung geklemmt werden können. Die vorübergehende Einsparung der Halteleistung führt so zu einer Senkung des Gesamtenergiebedarfs.

### Prüfstand belegt Einsparungen

Die Vermessung des Systems im Achsverbund wurde am Institut für Ferti-

gungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) in Hannover durchgeführt. Hierfür wurde ein Einzelachsprüfstand aufgebaut, der in seinen Kernkomponenten – wie Antriebsmotor, Führungen und Kugelgewindetrieb – einer originalen Vorschubachse der Demonstratormaschine entspricht. In aufwendigen Versuchen wurde sichergestellt, dass die Bremse in den Kriterien Schnelligkeit, Steifigkeit und Lebensdauer die Anforderungen durch die Maschine erfüllt. Als besonders schwierig erwies sich die Realisierung der Lastübernahme von der Antriebsregelung an die Bremse während der Bearbeitung, aber auch diese Herausforderung wurde durch eine Regleroptimierung am Prüfstand gelöst.

Damit die Bremse in geeigneter Weise angesteuert werden kann, braucht die Maschine mehr Informationen über den Bearbeitungsprozess. Zum Einsatz kam dazu ein Analyse- und Prognosemodul, das Daten aus dem CAM-System verwendet, um das benötigte Prozesswissen zu generieren und den Code um zusätzliche Schaltbefehle zu erweitern. Auf diese Weise können neben der Bremse auch die Kühlschmierstoff-Anlage und der Späneförderer bedarfsgerecht angesteuert werden.

Ein weiterer Stellhebel zur Steigerung der Energieeffizienz ist die Vorgabe von konfigurierbaren Stand-By-Zuständen. Beim Energiemanagement wurden die Anzahl der Energiemodes, deren Übergänge sowie die Energiemodes für die Maschine und die darunterliegenden Geräte näher beschrieben. Der angewandte Standard „sercos Energy“ schließt auch Energiesparfunktionen ein, die unabhängig vom jeweiligen Energiemodus aufgerufen werden können. Das Energiemanagement kann damit Entscheidungen selbständig treffen und durchführen.

Vorgaben zum Umschalten in einen neuen Energiemodus erhält das Energiemanagement über eine „Event-Schnittstelle“, einen Schichtkalender oder über eine Zeitüberwachung. Sie schalten die Maschine und die einzelnen Geräte – wann immer möglich – in den jeweils niedrigsten Energiemodus und wieder zurück, sobald dies erforderlich ist. Auch das Schließen der Haltebremse mit zusätzlicher Abschaltung des Antriebs

lässt sich auf diese Weise steuern. Über die Eventschnittstelle können die gesamte Maschine oder einzelne Geräte in einen definierten Energiemodus, beispielsweise „Stand-by“, geschaltet werden, außerdem wird der Energieverbrauch während der Produktion gemessen und kann bei Bedarf detailliert analysiert werden.

Ein weiteres Teilprojekt von NCplus beschäftigte sich mit der Frage, in welchem Maße der Energieverbrauch der Maschine durch eine Parametrierung der Antriebe beeinflusst werden kann. Entscheidend sind die Dynamik-Parameter: Ruck, Beschleunigung und Geschwindigkeit der Achsen. „Je schneller die Bearbeitung durchgeführt wird, desto energieeffizienter ist sie“, fasst Garber die Ergebnisse der Messungen zusammen. Das unterscheidet die Werkzeugmaschine zum Beispiel vom Auto, dessen Betrieb bei langsamem Fahren üblicherweise effizienter ist. Der Unterschied liegt darin, dass die Grundlast bei einer Werkzeugmaschine einen großen Teil der aufgenommenen Leistung ausmacht – und je schneller die Bearbeitung abgeschlossen ist, desto kürzere Zeit wird diese Grundlast benötigt.

Aus dieser Erkenntnis heraus wurde in der Maschine DMU340P bei der Firma KME der „DMG Greenmode“ installiert und getestet. Dieses Programm erhöht bei der Bearbeitung den Vorschub adaptiv, bis die für das eingesetzte Werkzeug ideale Zerspanleistung erreicht ist. Ursprünglich zielt dieses Vorgehen darauf ab, die Bearbeitungszeit zu senken. In einer zusätzlichen Messung wurde bei einer mehrstündigen Bearbeitung einer Kupferplatte aber nachgewiesen, dass dabei auch der Energieverbrauch um mehr als 4 % gesenkt wurde. Das ist umso überraschender, als diese Bearbeitung einen großen Schlichtanteil enthielt, bei dem die Vorschubgeschwindigkeiten nicht verändert wurden.

### Fazit

Die erarbeiteten Maßnahmen bewirken insgesamt eine Absenkung des Energiebedarfs um etwa 30 %. Dieser zum Projektbeginn als Ziel formulierte Wert wurde bei der Bearbeitung eines repräsentativen Testwerkstücks auf der DMC80H sogar noch leicht übertroffen. Besonders stolz sind die Projektpartner darauf, dass dieses Ergebnis auf einem modernen Bearbeitungszentrum erreicht wurde, bei dem Maßnahmen wie Leichtbau oder Rückspeisung der Bremsenergie sowieso schon zum Standard gehören. □