

Untersuchung des Energieverbrauchs

Energiebeitrag verschiedener Kühlschmiersysteme

Wie wirken sich unterschiedliche Kühlschmierstrategien im Vergleich zu Minimalmengenschmierung oder Trockenbearbeitung auf die Energiebilanz aus? Ein Forschungsprojekt liefert Ergebnisse am Beispiel Bohren.

VON MARKUS RIEF,
ECKEHARD KALHÖFER UND
BERNHARD KARPUSCHEWSKI

→ Die Hauptaufgaben des Kühlschmierstoffs (KSS) liegen im Kühlen und Schmieren der Kontaktzone sowie dem Abtransport der Späne. Somit tragen moderne KSS-Systeme maßgeblich zum hohen Leistungsniveau zahlreicher Fertigungsprozesse bei [1]. Den technologischen Vorteilen stehen eine ganze Reihe Nachteile gegenüber: die Gefährdung der Umwelt und des Menschen durch den Ölanteil und die zugesetzten Additive oder die durch das Kühlmittel resultierenden Kosten. Auch die Kosten für Aufbereitung, Pflege und für Entsorgung spielen eine wichtige Rolle. Daher wird seit Mitte der 90er-Jahre intensiv an der Trockenbearbeitung und an der Minimalmengenschmierung (MMS) geforscht. Die dem KSS zuzurechnenden Kosten können bis zu 17 Prozent der Fertigungskosten betragen – abhängig von Produkt und Fertigungsstrukturen sind aber auch KSS-Kostenanteile von zwei bis drei Prozent möglich [2].

Bei der MMS werden die Werkzeuge mit geringsten Mengen eines Schmiermediums versorgt. Die Zufuhr des

Schmiermediums (Öle oder Emulsion) erfolgt in der Regel mittels Druckluft. Oftmals wird dem Einsatz der MMS zusätzlich zu den Einsparungen am Schmiermedium noch ein Sparpotenzial im Energieverbrauch zugesprochen [4]. Im Rahmen des Forschungsprojekts ›Energieeffiziente Werkzeugkonzepte in der Zerspanung‹ [5, 6] wurde unter anderem analysiert, wie sich die Leistungsaufnahme bei der spannenden Fertigung für bestimmte Bearbeitungen zusammensetzt.

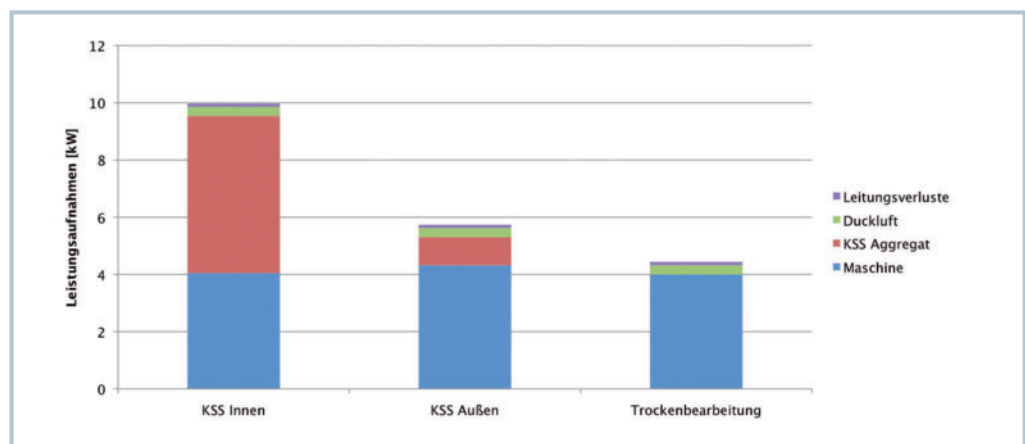
Das untersuchte System

Alle Versuche wurden an einer Hermle C30 dynamic durchgeführt. Die Maschine verfügt über ein Kühlschmierstoffaggregat der Firma Knoll (Typ AE 1058) mit einem Gesamtkühlmittelvolumen von 1300 l. Gekühlt werden kann mittels Außen- und Innenkühlung. Zusätzlich ver-

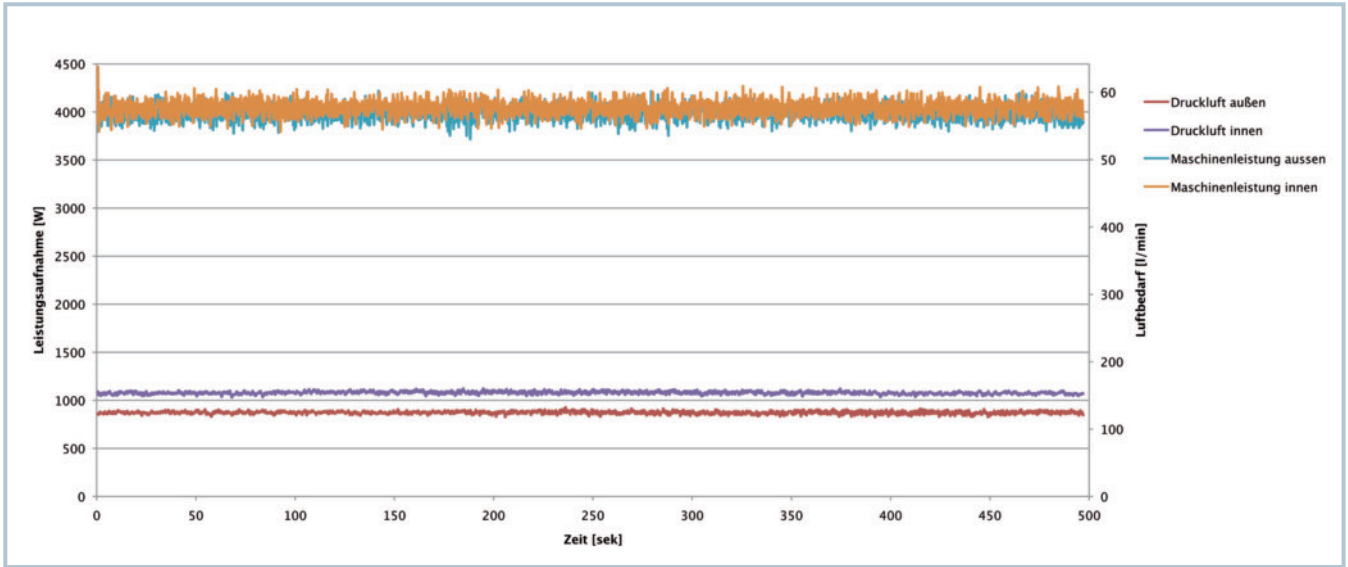
fügt die Versuchsmaschine noch über ein MMS-System, mit dem das Schmiermedium ebenfalls von außen und innen durch das Werkzeug zugeführt werden kann. Als Versuchswerkzeuge wurden Spiralboreur mit den Durchmessern 5 mm, 8,5 mm und 12 mm der Firma Miller aus der Mapal-Gruppe verwendet.

Für die Leistungsmessung wurde ein Messgerät von Infratek (Typ 107A) in Kombination mit Strommesszangen der Firma Chauvin Arnoux (Typ A100) ein-

i INSTITUT
Stiftungslehrstuhl Spanende Fertigung
der Hochschule Aalen
73430 Aalen
Tel. 07361 576-2289
Fax 07361 576-442289
→ www.htw-aalen.de/ssf



1 Leistungsaufnahmen von Bearbeitungszentrum und KSS-Aggregat



2 Leistungsaufnahme des Bearbeitungszentrums und der zugehörige Luftbedarf. Die für die Druckluft benötigte Leistung kann auf der linken Achse abgelesen werden

gesetzt. Der Druckluftvolumenstrom wurde mit einem Strömungssensor aus dem Hause IFM-electronic (Typ SD 6000) erfasst. Der gemessene Volumenstrom muss dann in eine äquivalente elektrische Leistung umgerechnet werden, um die Gesamtleistung beurteilen zu können. Dafür wird von einem Leistungsbedarf von 7 kW pro m³/min Volumenstrom bei einem Druck von 6 bar ausgegangen. In [7] wurden für sehr effiziente Druckluftanlagen entsprechende Werte von 6,5 bis 7,5 kW pro m³/min ermittelt. Im Allgemeinen wird die elektrische Leistung für die Druckluftherzeugung eher größer sein. Üblicherweise wird die benötigte Druckluft aus dem Druckluftleitungsnetz des Betriebs entnommen. Ebenfalls in [7] wurden Leckageverluste von einem Mittelwert

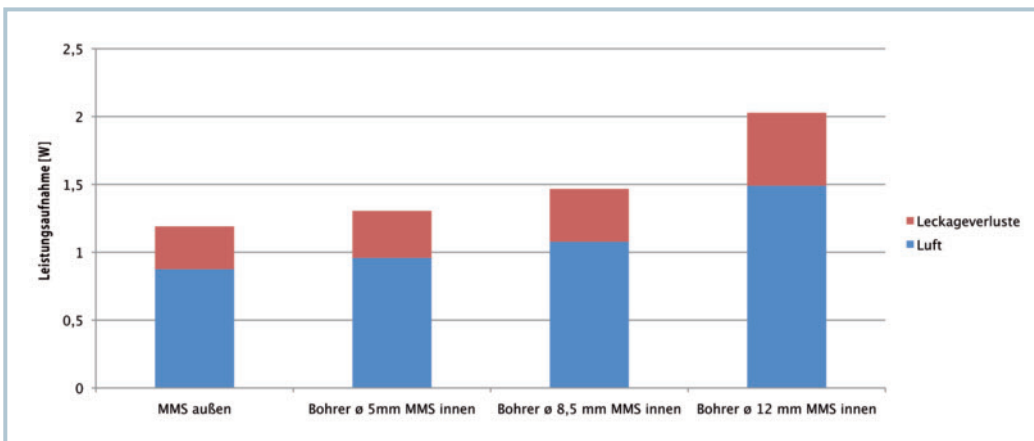
von 36 Prozent ermittelt, die hier ebenfalls berücksichtigt werden.

Leistungsmessung bei Vollschmierung

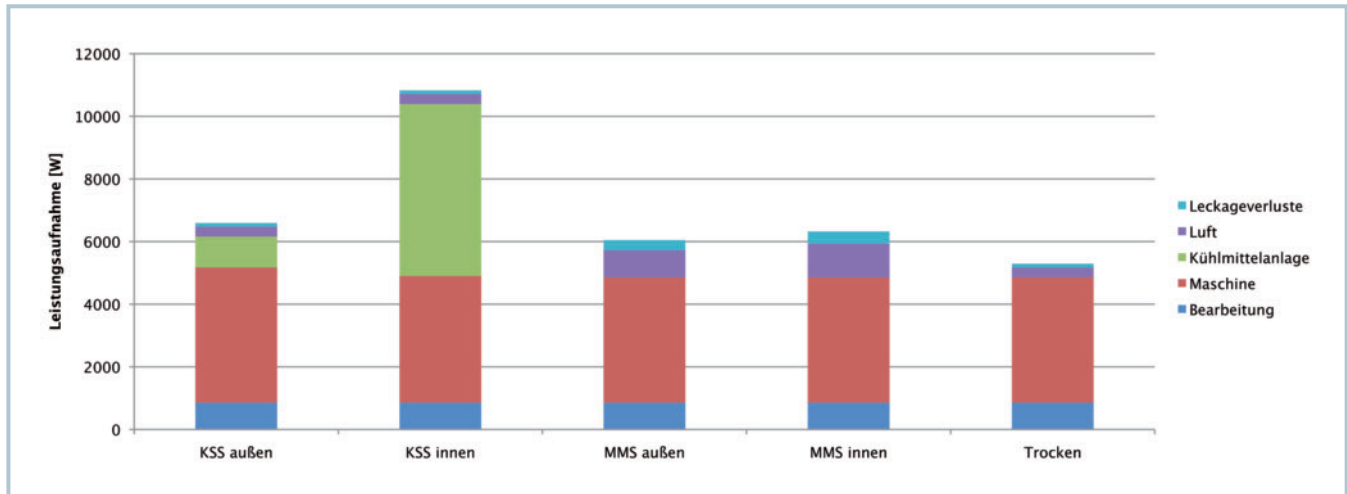
Die Leistungsaufnahme der Kühlmittelanlage im Leerlauf beträgt gemittelt 10 W. Für den Betriebszustand ›Außenkühlung‹ benötigt das gesamte Aggregat eine Leistung von 978 W. Der Betriebszustand ›Innenkühlung‹ wird mit einer Hochdruckpumpe realisiert. Bei deren Betrieb beträgt die aufgenommene Leistung des KSS-Aggregats 5,3 kW. Hinzu kommt alle 186 s die Aktivierung der Intervallrückspülpumpe, welche über einen Zeitraum von circa 6 s das Leistungsniveau auf 8,28 kW ansteigen lässt. Demnach ergibt sich ein durchschnittlicher Energiebedarf

des Aggregats bei der Betriebsart Innenkühlung von 5,4 kW.

Der Energiebedarf für die Außenkühlung ist deutlich niedriger als für die Innenkühlung. Jedoch muss berücksichtigt werden, dass bei der Außenkühlung ein wesentlich höheres Volumen an Emulsion umgesetzt wird, wodurch die Rückpumpe, die die Emulsion zurück in den KSS-Behälter pumpt, häufiger läuft. Um dies zu quantifizieren, wurde das umgesetzte Volumen ermittelt. Bei der Außenkühlung beträgt das Volumen 42 l/min (werkzeugunabhängig). Bei der Innenkühlung des 8,5-mm-Spiralbohrers beträgt das umgesetzte Volumen circa 6 l/min. Die Leistungsaufnahme des betriebsbereiten Bearbeitungszentrums beträgt 4 kW. Für einen Rückpumpzyklus benötigt die Pumpe für eine Dauer von 37,7 s eine zusätzliche Leistung von 1,1 kW. Bei der Zuführung von außen beträgt die Zeitspanne zwischen zwei Rückpumpvorgängen 91,5 s. Durch das Rückpumpen wird die Leistungsaufnahme auf durchschnittlich 4,32 kW erhöht. Bei der Zuführung durch das Werkzeug ergibt sich eine durchschnittliche Leistungsaufnahme des Bearbeitungszentrums von 4,06 kW. Es muss berück- >>>



3 Vergleich des Leistungsbedarfs bei der Druckluftherzeugung für die Minimalmengenschmierung bei unterschiedlichen Werkzeugdurchmessern



4 Verteilung der Leistungsaufnahme bei der Bearbeitung mit einem 8,5-mm-Spiralbohrer

» sichtigt werden, dass die Maschine (unabhängig von der Kühlschmierung) für den Betrieb Druckluft benötigt (46 l/min). Dies entspricht einer elektrischen Leistung von 438 W.

In Bild 1 sind die Leistungsbeträge den einzelnen Verbrauchern zugeordnet. Die notwendige Leistung für das Aggregat bei der Zuführung von innen ist deutlich höher als bei der Zuführung von außen. Etwas ausgleichend wirkt sich der höhere Leistungsbedarf der Maschine für den Fall »KSS außen« aus. Dieser rührt aus der höheren Betriebsdauer der Rückpumpe.

Aus dem Vergleich der unterschiedlichen Bohrdurchmesser für die Innenkühlung resultieren nur minimale Unterschiede in der Gesamtleistungsaufnahme. Der Leistungsbedarf des Kühlschmierstoffaggregats steigt nur minimal (beim 5-mm-Bohrer benötigt das Aggregat 5,38 kW, bei 8,5 mm 5,41 kW und bei 12 mm 5,44 kW). Die durchgesetzten Volumina unterscheiden sich allerdings wesentlich deutlicher (beim 5-mm-Bohrer 3,6 l/min, bei 8,5 mm 6 l/min und bei 12 mm 15,6 l/min). Jedoch wirkt sich durch das hohe Grundniveau der betriebsbereiten Maschine das häufigere Anspringen der Rückpumpe nur sehr gering aus. Berechnet werden kann der mittlere Leistungsbedarf der Maschine beim 5-mm-Bohrer mit 4,04 kW, beim 8,5-mm-Bohrer mit 4,06 kW und beim 12-mm-Bohrer mit 4,15 kW.

Für den Betrieb des MMS-Systems benötigt die Maschine dauerhaft 13 W, was im Vergleich mit dem Gesamtverbrauch der Maschine nicht ins Gewicht fällt.

Der Volumenstrom der Druckluft bei der Zuführung von innen (bei dem Bohrer mit 8,5 mm Durchmesser) beträgt gemittelt 154 l/min, wogegen der Volumenstrom bei Zuführung von außen lediglich bei 125 l/min liegt. In Bild 2 sind die Leistung der Maschine und der Bedarf an Druckluft wiedergegeben.

Betrachtet man die Werkzeuge mit unterschiedlichen Durchmessern, gibt es deutliche Unterschiede. Das KSS-Aggregat benötigt in allen Fällen denselben Leistungsbetrag – ebenso die Maschine. Der Luftbedarf unterscheidet sich bei den unterschiedlichen Durchmessern jedoch deutlich. So ist der geringste Bedarf an Druckluft bei der MMS von außen vorhanden. Bei der MMS von innen ändert sich der Luftbedarf mit dem Werkzeugdurchmesser, da der Öffnungsquerschnitt bei größer werdenden Werkzeugen immer größer wird. So hat der 5-mm-Bohrer einen Luftbedarf von 137 l/min, der 8,5-mm-Bohrer 154 l/min und der 12-mm-Bohrer 213 l/min (Bild 3).

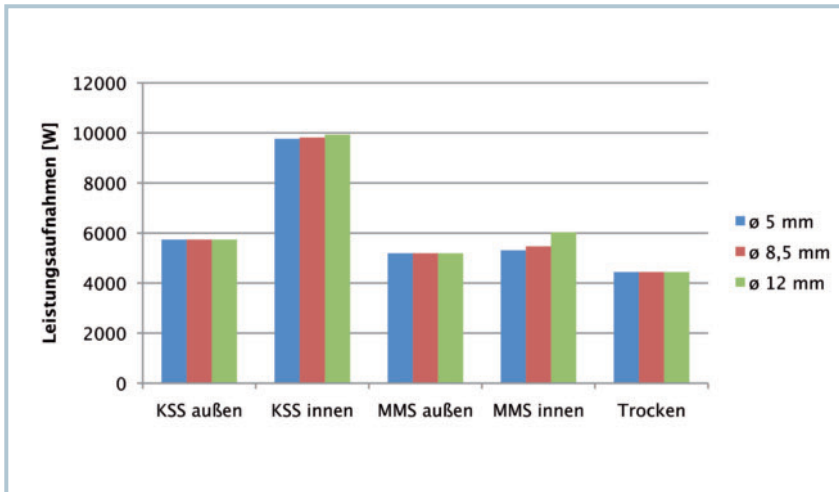
Vergleich im Anwendungsfall

Betrachtet man nun einen konkreten Anwendungsfall, lassen sich die notwendigen Leistungen, welche durch die Bearbeitung und die Nebenaggregate entstehen, wie folgt berechnen.

Bei einer Bohrbearbeitung mit einem VHM-Spiralbohrer in C45 mit einem Durchmesser von 8,5 mm, einer Schnittgeschwindigkeit von 60 m/min und einem Vorschub von 0,12 mm kann eine Schnittleistung von 959 W angenommen werden

($kc_{1.1} = 1880 \text{ N/mm}^2$). Die Maschinenleistung, die für eine solche Bewegung ohne Materialabtrag notwendig ist, muss mit 4321 W für die Außenkühlung mit Emulsion, mit 4046 W für die Innenkühlung, mit 4013 W bei Kühlung mit MMS und mit 4000 W für die Trockenbearbeitung berücksichtigt werden. Hierbei werden die Hilfsaggregate, Steuerung sowie die Leerlaufleistung berücksichtigt. Dazu kommen noch die Leistungen für die Kühlmittelanlage und die Druckluftaufbereitung.

Bild 4 zeigt die Ergebnisse im Vergleich. Die Variante mit konventioneller Kühlschmiertechnik mit Hochdruck durch die Spindel ist mit Abstand die energieintensivste Bearbeitung. Vergleicht man die konventionelle Kühlschmierung von außen, die in vielen Fällen auch für die Bohrbearbeitung ausreichend ist, mit MMS, so zeigt sich ein nur sehr geringer Energie-Minderbedarf für MMS, unabhängig von der Zuführungsart. Im Bearbeitungsprozess wird also mit MMS im Vergleich zur konventionellen Kühlschmierung von außen kaum Energie gespart (Bild 5). Dargestellt sind die Summe der Leistungsaufnahmen, die durch Maschinenleistung, KSS-Aggregat und Luftbedarf notwendig sind, die zugehörige Schnittleistung ist in dieser Darstellung nicht berücksichtigt. Die Leistung bei Außenkühlung und Trockenbearbeitung ist nicht werkzeugabhängig. Bei der Zuführung von innen gibt es eine Abhängigkeit der Leistung vom Werkzeugdurchmesser, wie oben diskutiert. Es ist deutlich zu erkennen, dass ab einem gewissen Durchmes-



5 Gesamtleistung der Nebenaggregate

ser der Kühlkanäle die Minimalmengenschmierung von innen energetisch weniger effizient ist als die Kühlung von außen. Die Hochdruckzuführung von innen verbraucht in jedem Fall deutlich mehr Energie.

Fazit und Danksagung

Neben den Vorteilen von MMS ist eine Energieeinsparung gegenüber einer konventionellen Außenkühlung mit Emulsion tatsächlich zu erwarten. Jedoch ist der Betrag der Einsparung sehr gering – und das unter der Annahme einer sehr effizienten Druckluftaufbereitung. Ist die Aufbereitungsanlage für die Druckluft nicht so effizient, steigt der Energiebetrag dementsprechend. Ist das Druckluftnetz mit Verlusten behaftet, wirkt sich das ebenfalls negativ aus. Gegenüber der Innenkühlung, die sich durch ihre hohen Drücke auszeichnet und dadurch sehr leistungsstarke Hochdruckpumpen benötigt, ist das Einsparpotenzial von MMS deutlicher zu sehen.

Die Untersuchungen wurden innerhalb des genannten Forschungsprojektes im Rahmen der ›Innovativen Projekte an den Fachhochschulen des Landes Baden-Württemberg‹ durchgeführt. Die Autoren danken dem Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württembergs und der Koordinierungsstelle Forschung und Entwicklung der Fachhochschulen für die Förderung. ■

Artikel als PDF unter www.werkstatt-betrieb.de
Suchbegriff → **WB110279**

LITERATUR

- 1 Klocke, F.; König, W.: Fertigungsverfahren 1, Springer Verlag, Aachen, 2007
- 2 Kalhöfer, E.: Ungenutzte Einsparpotenziale in der Spanenden Fertigung, Economic Engineering 5 (2008), S. 56-59
- 3 Statistisches Bundesamt, zitiert nach: Kiffler, H.: Zerspanung in der Trockenbearbeitung, Industriebedarf 6 (2006), S. 10-14
- 4 Hager, M.: Die langjährige Erfahrung, Öl perfekt zu dosieren, Werkstatt und Betrieb 4 (2010), S. 82-84
- 5 Kalhöfer, E.: Wo das Potenzial zur Energieeinsparung steckt, Werkstatt und Betrieb 10 (2008), S. 36-39
- 6 Kalhöfer, E.; Rief, M.: Energieeffiziente Werkzeugkonzepte in der Zerspanung – Analyse des Energieverbrauchs von spanenden Werkzeugmaschinen, horizonte 34 (2009), S. 30-33
- 7 Bayerisches Landesamt für Umweltschutz: Effiziente Druckluftsysteme, Sensor Druck, Augsburg, 2004

Prof. Dr.-Ing. habil. Bernhard Karpuschewski ist geschäftsführender Leiter des IFQ in Magdeburg
→ karpu@ovgu.de

Prof. Dr.-Ing. Eckehard Kalhöfer ist Inhaber des Stiftungslehrstuhls Spanende Fertigung an der Hochschule Aalen
→ Eckehard.Kalhoefer@htw-aalen.de

Dipl.-Ing. (FH) Markus Rief M. Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Stiftungslehrstuhl Spanende Fertigung der Hochschule Aalen
→ markus.rief@htw-aalen.de