

Energieeffizienz in der spanenden Fertigung

02 | Energieeffizienz



Prof. Dr.-Ing. Eckehard Kalhöfer | Dr. Jochen Kress

Energie wird immer teurer. Einerseits schwinden die (konventionellen) Energievorräte, ohne dass die Gewinnung ausreichender Energiemengen aus regenerativen Energiequellen bisher wirtschaftlich voll gelöst ist. Andererseits ist ohne Energie Produzieren und Wirtschaften nicht möglich. Durch eine Erhöhung der Energieeffizienz von Produktionsprozessen kann eine größere Wertschöpfung mit geringerem Energieeinsatz erzeugt werden.

In diesem Beitrag wird der Energieverbrauch von spanenden Werkzeugmaschinen und den darauf laufenden Zerspanungsprozessen analysiert. Daraus werden wirkungsvolle, konkrete Ansätze für die Steigerung der Energieeffizienz abgeleitet, wobei ein Schwerpunkt auf die Optimierung von Werkzeugen und Zerspanprozessen gelegt wird.

Motivation **Motivation**

Die Nutzung von Energie ist für modernes Produzieren und Wirtschaften unumgänglich. Das globale Bevölkerungswachstum, die steigende Lebensqualität und das Wirtschaftswachstum sind Treiber eines weiter steigenden Energieverbrauchs. Auf der anderen Seite wird der globale Energieverbrauch begrenzt durch die begrenzte Verfügbarkeit von Energieträgern wie Kohle, Öl oder auch Biokraftstoffen. Auch die globale Erwärmung mit ihren Folgen und die häufig mit der Energiewandlung verbundene Luft- und Umweltverschmutzung begrenzen letztendlich den Energieverbrauch. Die steigende Nachfrage nach Energie bei gleichzeitiger Begrenzung führt zu langfristig steigenden Energiepreisen.

Vor diesem Hintergrund ist die Energieeffizienz von Produktionsprozessen ein Technologietreiber, der auch in Zukunft moderne Produktion ermöglicht. Aber wie und mit welchen Stellhebeln kann die Energieeffizienz in der spanenden Fertigung ganz konkret verbessert werden?

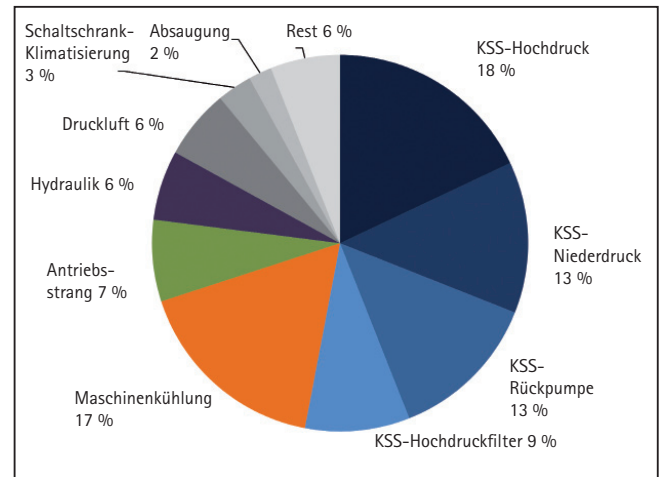


Bild 1: Energieverbrauchs-Anteile der Einzelkomponenten eines Bearbeitungszentrums. (MAG XS211) bei einer 3-Schicht-Serienfertigung, nach (1).

INDEX

Motivation	2
Einsparpotentiale	3
Energieeffiziente Werkzeugmaschine	3
Energieeffizienz-optimierte Werkzeuge und Zerspanprozesse	5
Energieeinsparungen	6
Zusammenfassung	11

Einspar- potentiale

Wo kann man in der Fertigung Energie einsparen?

Für diese Frage muss zunächst analysiert werden, welche Verbraucher in einer modernen spanenden Fertigung relevant sind. Offensichtlich ist hier zunächst die Werkzeugmaschine mit ihrer integrierten, beigeestellten oder zentralen Kühlschmierstoffanlage zu nennen. Daneben gibt es eine Reihe von zentralen Anlagen, die für die Produktion benötigt werden und ebenfalls Energie verbrauchen. Zu diesen „Querschnittstechnologien“ zählen z. B. die Beleuchtung, die Drucklufttechnik, die Wärme- und Kältetechnik, die Hallenbelüftung, die Fördertechnik und die Pumpen und Antriebe, die in vielen dieser Technologien integriert sind.

Die energieeffiziente Werkzeugmaschine

Diese Querschnittstechnologien finden sich in vielen unterschiedlichen Fertigungen. In diesen Bereichen gefundenes Optimierungspotential kann leicht- unabhängig vom Teilespektrum – auf die eigene Fertigung übertragen werden. Wirkungsvolle Maßnahmen mit häufig geringer Amortisationsdauer sind die Reduktion von Leckageverlusten im Druckluftsystem und die Modernisierung der Hallenbeleuchtung und der Wärme- und Kältetechnik (2). Pumpen und Elektromotoren, die einen großen Teil des Arbeitstages mit konstanter Leistung laufen, sollten durch modernere, energieeffizientere Komponenten ersetzt werden. Unter diesen Bedingungen – lange Laufzeit bei konstanter Leistungsabgabe – amortisieren sich die Mehrkosten für Elektromotoren der höchsten Energieeffizienzklasse (IE3) in weniger als 3 Jahren.

Betrachtet man den Energieverbrauch der Werkzeugmaschine (inklusive der Kühlschmierung), können unterschiedliche Ansatzpunkte für eine Steigerung der Energieeffizienz definiert werden:

- Die Optimierung der Werkzeugmaschine und ihrer Komponenten hinsichtlich des Energieverbrauchs,
- die Minimierung der Maschinenlaufzeit durch Abschalten in produktionsfreien Zeiten und
- die Optimierung des Zerspanprozesses und der dafür verwendeten Werkzeuge.

Die energieeffiziente Werkzeugmaschine

Der Energieverbrauch der eigentlichen Produktionsmaschinen hat in vorwiegend spanenden Großserien-Fertigungen typischerweise einen Anteil in der Größenordnung von 80 % des Gesamtverbrauchs (3, 4). Eine typische Verteilung des Energieverbrauchs innerhalb eines Bearbeitungszentrums für eine repräsentative 3-Schicht-Fertigung zeigt Bild 2. Die Kühlschmierstoffversorgung nimmt dabei einen Anteil von etwas über 50 % ein. Weitere große Anteile am Energieverbrauch haben die Maschinenkühlung, der Antriebsstrang und die Hydraulik. Der Energieverbrauch von Kühlschmieraggregaten kann vor allem durch eine bedarfsgerechte Bereitstellung des Kühlschmiermittels – also durch drehzahlgeregelte Pumpen – verringert werden. Dadurch kann die Energieaufnahme des KSS-Aggregats teilweise um 60 % verringert werden (1). Damit kann der Energiebedarf der Gesamtmaschine in diesem Beispiel allein

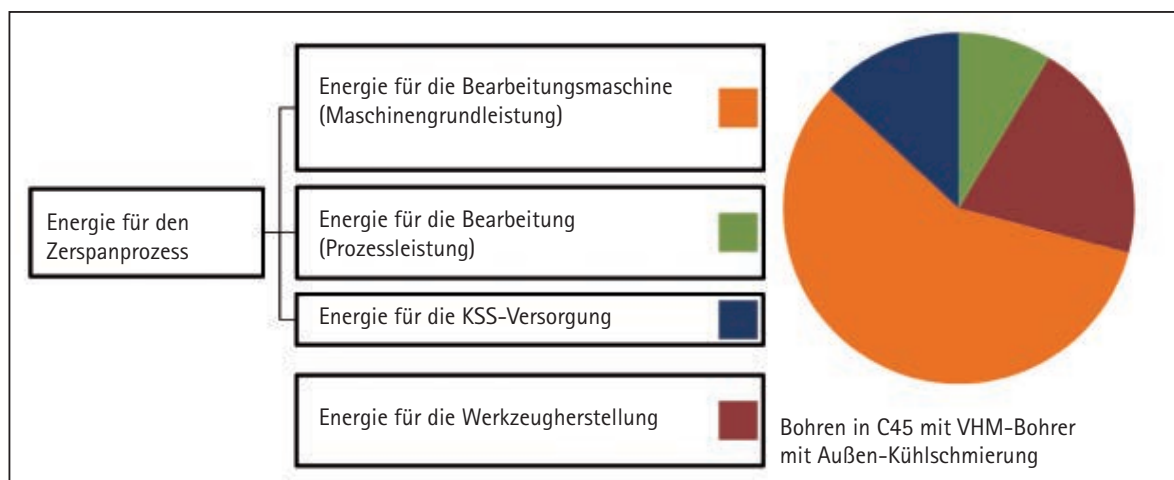


Bild 2: Beispielhafte Verteilung der benötigten Energie eines Zerspanprozesses.

02 | Energieeffizienz

Energieeffiziente Werkzeugmaschine

durch die Optimierung der Kühlschmierung um 30 % gesenkt werden.

Für die Hydraulik der Maschine ist je nach Bedarf ebenfalls eine drehzahlgeregelte Pumpe oder – bei geringem Bedarf – eine Konstantpumpe zusammen mit einem Druckspeicher im Speicherladebetrieb energieeffizient. Im zweiten Fall läuft die Hydraulikpumpe nur von Zeit zu Zeit, um den Druck im Druckspeicher wieder zu erhöhen. In der Zwischenzeit wird der Bedarf an Hydrauliköl aus dem Druckspeicher gedeckt (5).

Spanende Werkzeugmaschinen haben typischerweise einen Hauptzeitanteil von etwa einem Drittel oder weniger. Die restliche Maschinenlaufzeit ist Wartezeit und Zeit für Einstellungen und Werkzeugwechsel (6). Daraus ergeben sich zwei Folgerungen für die Energieeffizienz. Während dieser nicht produktiven Zeiten sollten verzichtbare energieaufwändige Komponenten durch automatische Standby-Manager abgeschaltet werden. Durch diese Maßnahme können teilweise über 20 % der Gesamtenergie der Werkzeugmaschine eingespart werden (1).

Bei hohen Anforderungen an die Präzision kann das Abschalten von Komponenten jedoch zu einer zu großen thermischen Verformung der Werkzeugmaschine und damit zu Toleranzüberschreitungen führen. Es muss also im Einzelfall geprüft werden, welche Komponenten der Werkzeugmaschine bei Produktionsunterbrechungen ausgeschaltet werden können.

Weiterhin sollte durch organisatorische Maßnahmen versucht werden, die nichtproduktiven Zeiten der Werkzeugmaschinen zu verringern. Das verbessert Produktivität und Wirtschaftlichkeit der gesamten Produktion und reduziert deutlich den Energieverbrauch.

Die bisher angesprochenen Energieeinsparpotentiale können zum großen Teil nur realisiert werden durch den Kauf neuer, energieeffizienzoptimierter Werkzeugmaschinen. Teilweise ist auch ein Retrofit vorhandener Komponenten, z. B. der Austausch einer Konstantpumpe durch eine drehzahlgeregelte Pumpe, möglich. Typischerweise sind energieeffiziente

Maschinenkomponenten zunächst teurer, so dass der Anwender entscheiden muss, ob er die erhöhte Investition mit den Energieeinsparungen im Betrieb rechtfertigen kann.

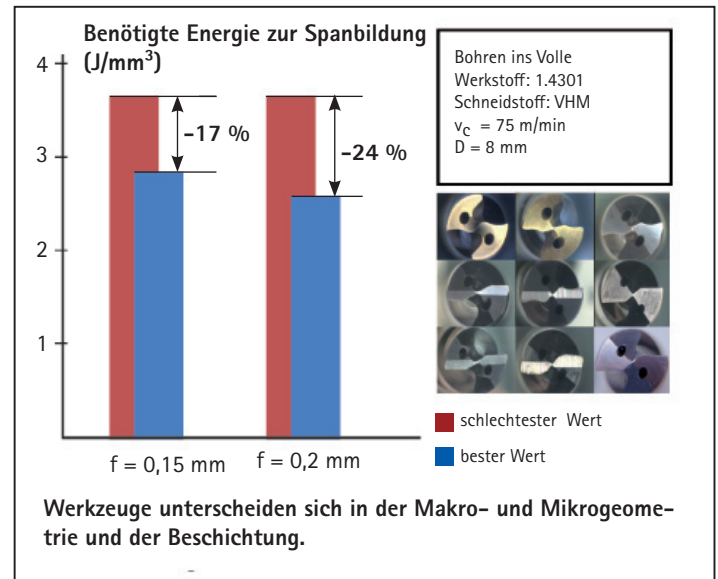


Bild 3: Verringerung der Prozessenergie durch Optimierung der Werkzeugschneiden.

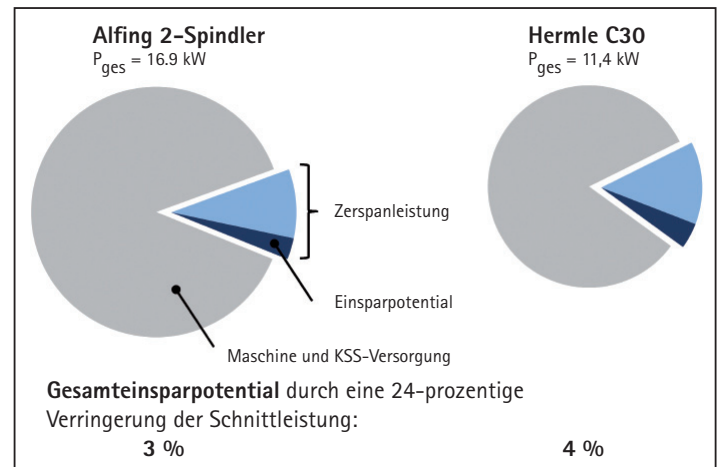


Bild 4: Gesamteinsparpotential durch die Verringerung der Prozessenergie.

Die Investition in eine neue, energieeffiziente Werkzeugmaschine lohnt sich in der Regel nur, wenn ohnehin eine Ersatzbeschaffung ansteht. Angesichts der großen Anzahl an vorhandenen Werkzeugma-

Energieeffizienzoptimierte Werkzeuge und Zerspanprozesse

schinen in Deutschland und der langen Lebensdauer dieser Maschinen müssen aber auch Einsparpotentiale durch Werkzeug- und Prozessoptimierungen mit den derzeit vorhandenen Maschinen geprüft und realisiert werden.

Energieeffizienzoptimierte Werkzeuge und Zerspanprozesse

Für die Optimierung von Werkzeug und Prozess ist es sinnvoll, den Energieverbrauch einer Werkzeugmaschine anders zu strukturieren als in Bild 1. Im Folgenden werden alle Verbraucher der Maschine zusammengefasst, die im betriebsbereiten Zustand ständig oder von Zeit zu Zeit laufen (Bild 2). Die Leistungsaufnahme dieser Verbraucher wird zusammengefasst zur Grundleistung der Maschine. Die Leistungsaufnahme aller Verbraucher im Zusammenhang mit der Kühlschmierung werden zur KSS-Leistung zusammengefasst. Die Leistung, die zusätzlich zur Grundleistung während der Bearbeitung von der Werkzeugmaschine aufgenommen wird, wird Prozessleistung genannt. Multipliziert mit den Lauf-

Bearbeitungsmaschine). Und schließlich ist für eine ganzheitliche Optimierung die Berücksichtigung der Herstellenergie für die Zerspanwerkzeuge sinnvoll. Ohne ihre Berücksichtigung könnte das energetische Optimum beim Anwender bei extrem kurzen Werkzeugstandzeiten liegen, die zu einem hohen Energieaufwand beim Werkzeughersteller führen würden.

Die Anteile dieser vier Energien an der gesamten benötigten Energie hängen natürlich stark von der Werkzeugmaschine und dem Prozess ab. In den meisten Fällen ist die Prozessenergie jedoch geringer als 20 % der Gesamtenergie. Die KSS-Leistung kann einen deutlich größeren Anteil einnehmen, wenn eine Hochdruck-Innenkühlschmierung zum Einsatz kommt. Der Energieanteil für die Werkzeugherstellung kann bei Verwendung von Wundeschneidplatten deutlich kleiner sein als in Bild 2, dem Messdaten einer Bohrbearbeitung mit einem Vollhartmetall-Bohrer zugrunde liegen.

Ein zunächst naheliegender Ansatz, die Prozessenergie zu verringern, ist die Verwendung von besonders leichtschneidenden Werkzeugen. Hier ist also die Schnittkraft durch geeignete Mikro- und Makrogeometrie (geringe Schneidkantenradien, große Spanwinkel) und durch eine reibungsarme Beschichtung vergleichsweise gering. Durch diese Maßnahmen kann die benötigte Energie zur Spanbildung und damit die Schnittkraft deutlich verringert werden. Bohrversuche in rostfreiem Stahl ergaben in einem Benchmark mit insgesamt neun Vollhartmetall-Spiralbohrern Unterschiede von Schnittkraft und Energie zur Spanbildung von bis zu 24 % bei gleicher Produktivität (Bild 3). Ausgehend von diesen 24 % Einsparpotential der Prozessenergie wird die Gesamtenergie des Zerspanprozesses aber nur um 3 bis 4 % verringert (Bild 4). Grundlage für diese Zahlen sind Messungen an einem für die Großserienfertigung in der Automobilindustrie typischen Bearbeitungszentrum (Alfing 2-Spindler) und an einem weiteren Bearbeitungszentrum, das für die Serienfertigung und auch für den Werkzeug- und Formenbau eingesetzt wird (Hermle C30).

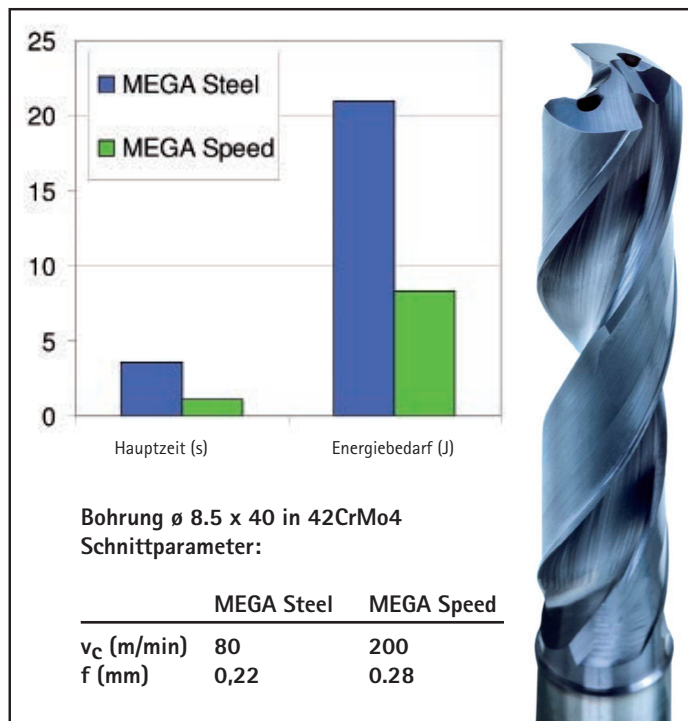


Bild 5: Einsparung von Hauptzeit und Energie durch Erhöhung der Produktivität.

zeiten ergibt sich aus diesen Leistungen jeweils eine Energie (Prozessenergie, KSS-Energie, Energie für die

Energieeffizienz-optimierte Werkzeuge und Zerspanprozesse



den Energieverbrauch zu senken. Ein Beispiel für das Bohren zeigt Bild 5. Durch eine Optimierung des Bohrwerkzeugs wurde eine Verringerung der Hauptzeit um 70 % und eine Verringerung des Energiebedarfs während der Hauptzeit um 60 % erreicht. Die wichtigste Änderung der Werkzeuggeometrie war eine andere Anordnung der Führungsfasen, so dass der Bohrer

Bild 6: Vielzahnreibahle zur Erhöhung der Produktivität und der Energieeffizienz.

In den meisten Fällen hat eine Verringerung der Schnittkraft bei gleicher Produktivität nur wenig Einfluss auf den Energieverbrauch. Nur bei Zerspanprozessen mit großem Anteil der Prozessenergie am gesamten Energieverbrauch – wie bei schwerer Schruppbearbeitung – bringt die Verringerung der Schnittkraft bei gleicher Produktivität einen deutlichen Zuwachs an Energieeffizienz. Es muss jedoch auf eine ausreichende Schneidenstabilität und Prozesssicherheit geachtet werden. Kleinere Schnittkräfte durch niedrigere Vorschübe oder Zustellungen sind hinsichtlich der Energieeffizienz kontraproduktiv. Sie erhöhen den Energiebedarf aufgrund der dann längeren Bearbeitungszeit.

im vorhandenen Bohrloch nicht eingeklemmt werden kann. Daneben wurden auch Schneidstoff und Beschichtung geändert.

Eine weitere Möglichkeit, die Produktivität und damit die Energieeffizienz zu steigern, ist die Erhöhung des Vorschubs pro Umdrehung. Bei der Feinbearbeitung mit Mehrschneiden-Reibahlen kann bei geeigneter Werkstückgeometrie mit Werkzeugen bearbeitet werden, die nahezu keinen Spanraum besitzen. Dadurch kann die Anzahl der Schneiden und damit die realisierbare Vorschubgeschwindigkeit erheblich vergrößert werden. Bild 6 zeigt ein solches Werkzeug, das für die Feinbearbeitung von Pleueln eingesetzt wird.

Energieeinsparungen durch Produktivitätssteigerung von Zerspanprozessen

Energieeinsparungen durch Produktivitätssteigerung von Zerspanprozessen

Die Grundleistung und damit die Energie für die Bearbeitungsmaschine, die für ihren betriebsbereiten Zustand nötig ist, haben in der Regel einen relativ großen Anteil an der Gesamtleistung bzw. -energie. Damit beeinflusst die Maschinenbelegungszeit die Gesamtenergie relativ stark. Sowohl Hauptzeiten als auch Nebenzeiten sollten also für einen energieeffizienten Prozess möglichst gering sein. Die Steigerung der Produktivität ist auch bisher Optimierungsziel in der Zerspanung. In diesem Bereich gibt es eine Reihe von wirkungsvollen Maßnahmen,

Energie-
einsparun-
gen durch
Produkti-
vitätsstei-
gerung von
Zerspan-
prozessen

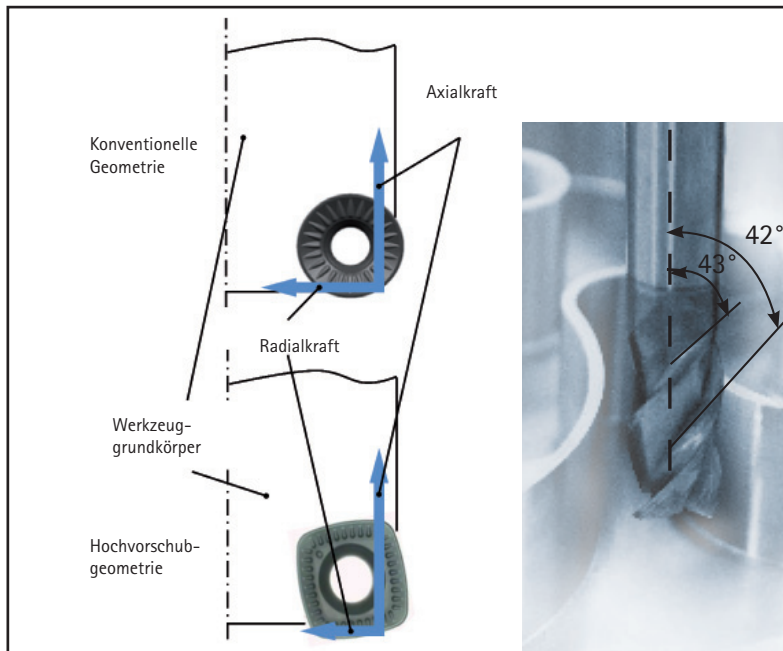


Bild 7: Werkzeuge mit verringerter Ratterneigung; links durch geringere Radialkraft, rechts durch unterschiedliche Drallwinkel der Schneiden.

In vielen Fällen wird die Produktivität eines Zerspanprozesses durch das Rattern des Werkzeugs begrenzt. Das Werkzeug und auch die Leistung der Hauptspindel würden eine höhere Produktivität (einen höheren Vorschub und/oder eine größere Zustellung) erlauben. Um die – selbsterregten – Schwingungen beim Rattern zu vermeiden, müssen jedoch Vorschub und Zustellung begrenzt werden. In solchen Fällen kann die Produktivität erheblich gesteigert werden, wenn die Ratterneigung des Werkzeugs vermindert wird.

Zwei Beispiele für in dieser Hinsicht optimierte Werkzeuge zeigt Bild 7. Rechts ist ein Werkzeug dargestellt, dessen Schneiden unterschiedliche Drallwinkel aufweisen. Dadurch werden die einzelnen Frequenzen weniger ange-regt, was zu einer geringeren Ratterneigung und zu einem höheren realisierbaren Zeit-spanvolumen führt.

Auf der linken Seite von Bild 7 ist die Werkzeuggeometrie von speziellen Hochvor-schubfräsern im Vergleich zu konventionellen Torusfräsern skizziert. Diese Werkzeuge werden vielfach im Werkzeug- und Formenbau eingesetzt.

Die Hochvorschubfräser werden mit recht kleinen axialen Zustellungen und sehr großen Vorschüben gefahren, wobei die Eingriffwinkel dieser Werkzeuge sehr klein sind. Dadurch ist die Radialkraft auf das Werkzeug relativ gering (und die Axialkraft größer).

Das Werkzeug ist in axialer Richtung sehr steif, so dass die höhere Axialkraft unproblematisch ist. In radialer Richtung ist das Werkzeug vergleichsweise nachgiebig. Der kleinere radiale Anteil der Gesamtkraft in Verbindung mit dem kleinen Einstellwinkel führt zu sehr großen realisierbaren Vorschüben und einem deutlich größeren Zeitspanvolumen im Ver-gleich zu Torusfräsern und zylindrischen Fräsern.

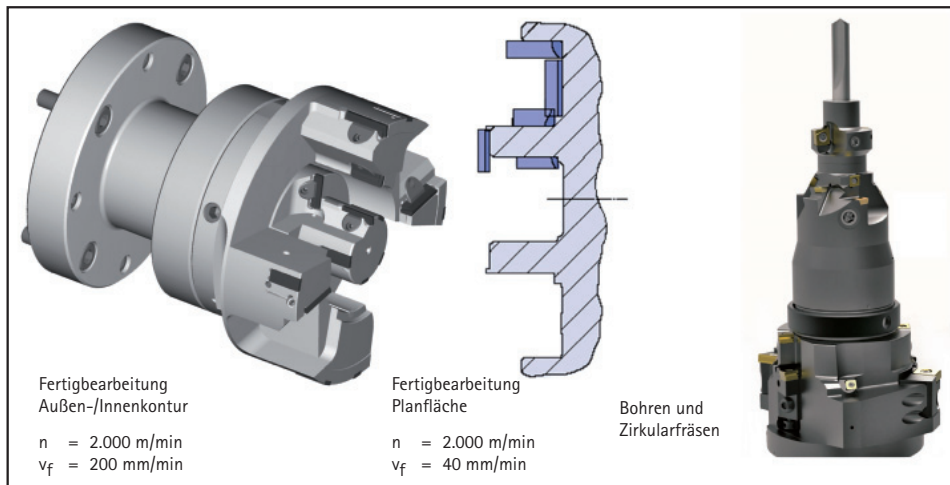


Bild 8: Kombinationswerkzeuge zur Verringerung von Haupt- und Nebenzeiten.

Energieeinsparungen durch Produktivitätssteigerung von Zerspanprozessen

Eine gute Möglichkeit, sowohl Haupt- als auch Nebenzeiten deutlich zu verkürzen, bieten Kombinationswerkzeuge. In der Großserienfertigung auf Bearbeitungszentren können mit ihnen oft mehrere Bearbeitungen mit einem Werkzeug durchgeführt werden. Dadurch wird einerseits Werkzeugwechselzeit eingespart und der mit dieser Zeit verbundene Energieverbrauch. Andererseits wird durch die gleichzeitige Bearbeitung mehrerer Bearbeitungsstellen auch die Hauptzeit deutlich verringert. Bild 8, links zeigt ein solches Werkzeug, in dem neun verschiedene Arbeitsgänge in einem Werkzeug vereint wurden. In manchen Fällen können mit einem Kombinationswerkzeug auch unterschiedliche Bearbeitungsarten durchgeführt werden. Ein Werkzeug, mit dem zunächst gebohrt und anschließend zirkulargefräst wird, ist in Bild 8, rechts dargestellt.

Energieeinsparungen durch Minimalmengenschmierung

Energieeinsparungen durch Minimalmengenschmierung

Wie Bild 1 schon deutlich gemacht hat, ist der Energieverbrauch durch die Kühlschmierung sehr hoch. Um das Energieeinsparpotential durch Minimalmengenschmierung zu verdeutlichen, werden im Folgenden Messungen und Analysen an zwei unterschiedlichen Bearbeitungszentren dargestellt. Einerseits wird durch den Wegfall der Kühlschmier-technik der Energieverbrauch dafür eingespart. Andererseits wird für die Minimalmengenschmierung Druckluft verbraucht, deren Erzeugung relativ energieaufwändig ist. Dieser Druckluftverbrauch muss für eine korrekte Einschätzung der Einsparungen berücksichtigt werden.

Zunächst sollen die Verhältnisse beim Bohren mit einem einzelversorgten Bearbeitungszentrum dargestellt werden. Das Bohren ist der häufigste Zerspanungsprozess auf Bearbeitungszentren und hat daher eine besonders große Relevanz. Die untersuchte Maschine, eine Hermle C30, hat beim untersuchten Bearbeitungsprozess eine mittlere Leistungsaufnahme von ca. 5 kW. Das Kühlschmieraggregat hat zusätzlich eine Leistungsaufnahme von 5,5 kW bei der Kühlschmierung durch das Werkzeug mit 40 bar Druck. Bild 9 zeigt die Verteilung der Leistungsaufnahme bei der Bohrbearbeitung mit Hochdruck-Kühlschmierung durch das Werkzeug, bei der Minimalmengenschmierung durch das Werkzeug und zum Vergleich bei der komplett trockenen Bearbeitung. Der Druckluftverbrauch muss für eine energetische Betrachtung in einen äquivalenten

Energieverbrauch umgerechnet werden. In (7) wurde für sehr effiziente Druckluftanlagen ein elektrischer Leistungsbedarf von 6,5 bis 7,5 kW pro m³/min Volumenstrom bei einem Druck von 6 Bar ermittelt. Die Angaben in Bild 9 basieren auf 7 kW pro m³/min. Zusätzlich werden ebenfalls in (7) ermittelte Leckageverluste von 36 % berücksichtigt.

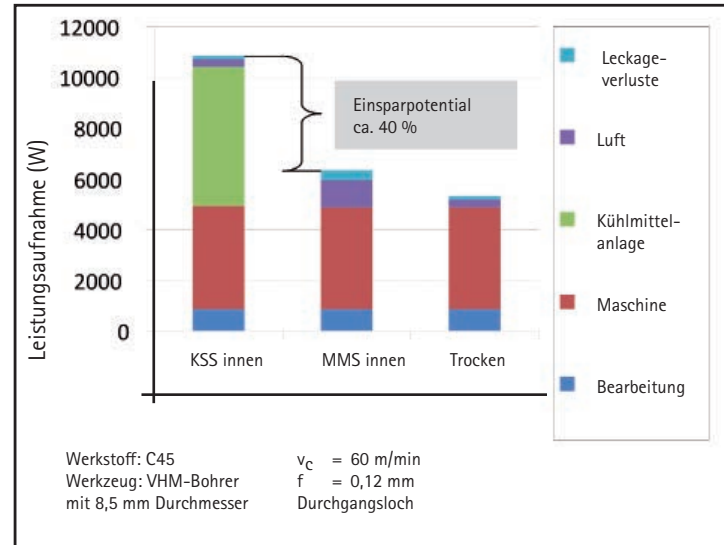


Bild 9: Einsparpotential durch Minimalmengenschmierung bei einem Bearbeitungszentrum mit dezentraler KSS-Versorgung.

Die Messergebnisse zeigen einen deutlich erhöhten Druckluftverbrauch bei der Minimalmengenschmierung im Vergleich zur konventionellen Kühlschmierung durch das Werkzeug. Der Energiebedarf für die Druckluft ist jedoch trotzdem erheblich geringer als für die konventionelle Kühlschmierung. Insgesamt wird durch die Minimalmengenschmierung der Energiebedarf gegenüber der Hochdruck-KSS-Zuführung um etwa 40 % verringert (8).

Energie-
einsparun-
gen durch
Minimal-
mengen-
schmierung

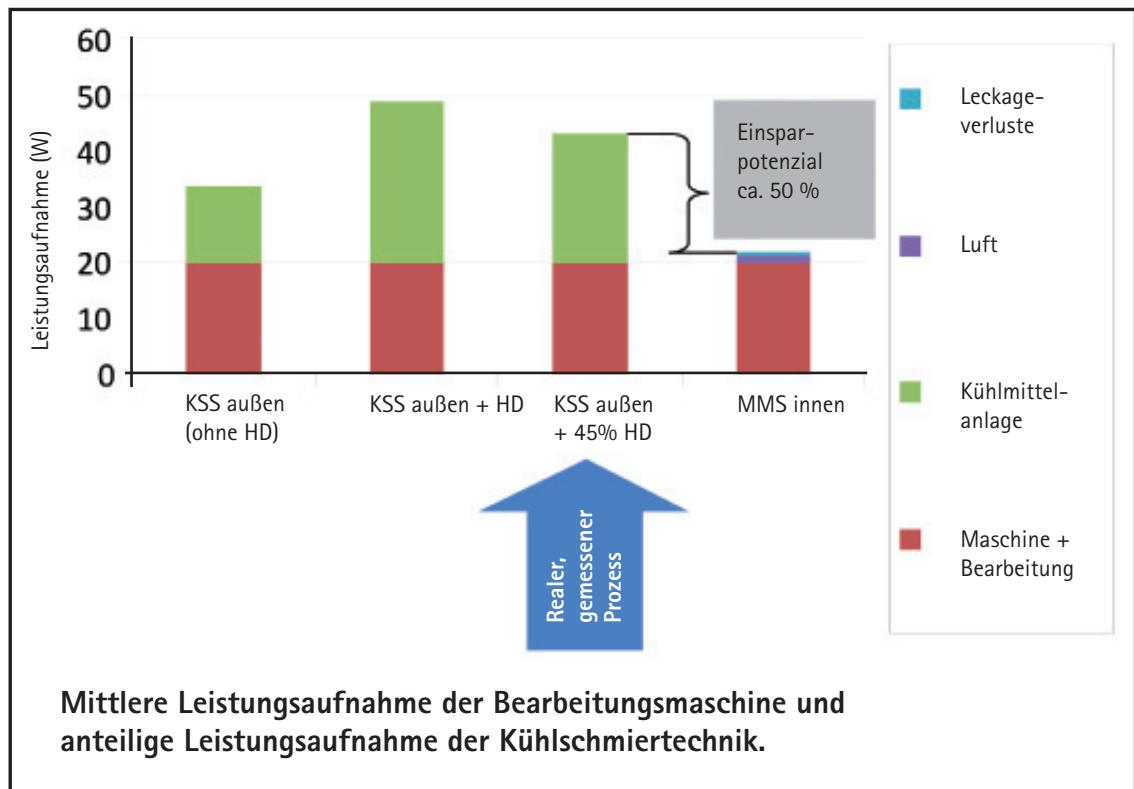


Bild 10: Einsparpotential durch Minimalmengenschmierung bei einem Bearbeitungszentrum mit zentraler KSS-Versorgung.

In Großserienfertigungen werden häufig große Zentralanlagen für die Filterung und Versorgung mit KSS eingesetzt. Um die Späne sicher vom Werkstück und aus dem Bearbeitungsraum zu spülen, werden oft große Volumenströme an Kühlschmierstoff eingesetzt. Die längeren Wege zwischen Zentralanlage und Bearbeitungsmaschine und die größeren Mengen an umgewälztem Kühlschmierstoff führen zu einem noch höheren Energiebedarf für die Kühlschmiertechnik, als bei einzelversorgten Anlagen. Das spiegelt sich in den in Bild 10 dargestellten Ergebnissen wider. Sie basieren auf Messungen in einer Großserienfertigung, in der ein Gehäuse aus Gusseisen mit 15 Bearbeitungszentren bearbeitet wird.

Die Maschinen haben eine mittlere Leistungsaufnahme bei dieser Bearbeitung (ohne KSS-relevante Komponenten) von knapp 20 kW. Die Zentralanlage hat einen Volumenstrom von 5000 l/min und eine Leistungsaufnahme von 136 kW. Dazu kommen Hochdruckpumpen und Rückförderpumpen an den

Bearbeitungszentren. Zu 45 % der Bearbeitungszeit wird das KSS mit Hochdruck eingesetzt. Die gesamte Bearbeitungszeit ist außerdem eine (Niederdruck-) Spülung mit Kühlschmierstoff im Einsatz. Die mittlere Leistung von Maschine und (anteiliger) Kühlschmiertechnik von gut 43 kW kann durch den Einsatz der Minimalmengenschmierung auf etwa die Hälfte reduziert werden.

Diese 50 % Einsparpotential sind allerdings nicht komplett realisierbar. Bei Einsatz der Minimalmengenschmierung muss ein anderes System für die Späneabfuhr aus der Maschine installiert werden. Wenn einzelne Späneloren an den Maschinen nicht in Frage kommen, können die Späne z. B. relativ energieeffizient mit Sauganlagen aus den Maschinen abgesaugt werden. Hierfür verfügbare Anlagen können eine größere Anzahl von Absaugstellen/Maschinen bedienen. Dabei werden die Späne nicht kontinuierlich abgesaugt. Nach einer gewissen Zeit wird die bis dahin angefallene Menge Späne impulsförmig – in sehr kurzer Zeit – abgesaugt und mit einem Zyklon aus der Absaugluft ausgeschieden.

Energie-
einsparun-
gen durch
Minimal-
mengen-
schmierung



Bild 11: Spiralbohrer mit Stahlschaft und Hartmetallspitze.

Herstell-
energie

Herstellenergie der Werkzeuge beachten

Für eine ganzheitliche Optimierung muss neben dem Energieverbrauch beim Anwender die Herstellenergie für die Zerspanwerkzeuge berücksichtigt werden. In vielen Fällen wird das den Anwender der Werkzeuge nicht interessieren. Mit steigenden Energiekosten werden energieintensive Werkzeuge jedoch überproportional verteuert. Auch um die Gesamtenergie für die Herstellung von Produkten zu bestimmen, wird die Herstellenergie von Vorprodukten und Werkzeugen benötigt.

Beispielsweise ergeben Messungen für die Herstellung von Wendschneidplatten CNMA 120412 mit einer Masse von 10 g, die nicht präzisionsgeschliffen werden, einen Energieaufwand von etwa 870 kJ. Bei geschliffenen Wendschneidplatten der gleichen Größe erhöht sich der Energieaufwand durch das Schleifen um etwa 50 % (9).

Vollhartmetall-Werkzeuge wie Spiralbohrer oder Schaftfräser haben einen erheblich größeren Energiebedarf bei der Herstellung. Der Energieaufwand für Werkzeuge kann z. B. verringert werden, wenn möglichst wenig Hartmetall verwendet wird. Der Ersatz eines Vollhartmetall-Bohrers durch ein Bohrwerkzeug mit Stahlschaft und Hartmetallspitze (Bild 11) kann die Herstellenergie für das Werkzeug – bezogen auf eine Bohrung – um etwa 28 % verringern (10).

Zusammenfassung

Zusammenfassung

Energieeffizienz ist heute für eine Reihe von Unternehmen interessant und hilft, deren Energiekosten (und Gesamtkosten) zu senken. In Zukunft wird dieses Thema bei weiter steigenden Energiekosten für immer mehr produzierende Unternehmen wichtig werden. In der spanenden Fertigung gibt es viele Ansätze, die Energieeffizienz zu verbessern. Für Querschnittstechnologien wie Pumpen, Elektromotoren, Drucklufttechnik oder Beleuchtung kann mit vergleichsweise wenig Engineering-Aufwand eine Verbesserung in weiten Bereichen der Fertigung erreicht werden.

Vor allem, wenn Neuinvestitionen in Werkzeugmaschinen anstehen, gibt es innerhalb der Maschine ein großes Einsparpotential. Dies betrifft vor allem die Kühlschmierstoff-Versorgung, die Maschinenkühlung und die Hydraulik der Maschinen. Hier hilft eine Betrachtung der Gesamtkosten (Lebenszykluskosten), um zunächst etwas teurere Technologie, die aber im Betrieb erheblich Energie einsparen kann, zu rechtfertigen. Auch organisatorische Maßnahmen, die zu einer Verringerung der nichtproduktiven Maschinenlaufzeiten führen, verbessern die Energieeffizienz in der Fertigung.

Werkzeugmaschinen haben aber eine große Lebensdauer, so dass auch für den Betrieb schon vorhandener Maschinen eine Verbesserung der Energieeffizienz wünschenswert ist. Auch hier gibt es Ansatzpunkte, den Energieverbrauch zu senken. Häufig besonders wirkungsvoll ist die Verringerung von Haupt- und Nebenzeiten von Fertigungsprozessen, die neben der Verbesserung der Energieeffizienz natürlich auch die Maschinenkosten senkt. Auch der Einsatz von Minimalmengenschmierung anstatt von konventioneller Kühlschmierung senkt den Energiebedarf der Fertigung deutlich. Wird nicht nur der Energiebedarf beim Bearbeiter, sondern auch die Energie für die Werkzeugherstellung berücksichtigt, gibt es durch die Optimierung der Herstellenergie weitere Möglichkeiten, den Gesamtenergiebedarf für die spanende Fertigung zu senken. Betrachtet man die Energieaufnahme der Werkzeugmaschine inklusive der Kühlschmierstoff- und Druckluftversorgung, lassen sich auch mit vorhandenen Werkzeugmaschinen mit vergleichsweise niedrigen Investitionen in optimierte Werkzeuge häufig Energieeinsparungen über 25 % erreichen.

Literatur

1. Rothenbücher, S., Kührke, B.: Trendbericht: Energiekosten bei spanenden Werkzeugmaschinen, Werkstatt und Betrieb (2010) 9, S. 130-137
2. Heinen, T., Wulf, S.: Mehr Energieeffizienz in Fabriken, ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 106 (2011) 7-8, S. 502-505
3. Sextl, A.: Nachhaltiges Energiemanagement in der BMW Group am Beispiel Produktion Fahrwerks- und Antriebskomponenten, Vortrag/Tagungsband Energieeffiziente Werkzeugmaschine, Düsseldorf, 24.02.2010
4. Mussa, S., Tilch, D.: Energieeffiziente Werkzeugmaschine – Systematik und praktische Umsetzung, Vortrag/Tagungsband Energieeffiziente Werkzeugmaschine, Düsseldorf, 24.02.2010
5. Abele, E., Sielaff, T., Beck, M.: Konfiguration energieeffizienter Werkzeugmaschinen, wt Werkstattstechnik online 102 (2012) 5, S. 292-298
6. Neugebauer, H., Westkämper, E., Klocke, F., Kuhn, A., Schenk, M., Michaelis, A., Spath, D., Weidner, E.: Abschlussbericht – Untersuchung zur Energieeffizienz in der Produktion. Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Chemnitz, 2008
7. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz: Effiziente Druckluftsysteme, Senter Druck, Augsburg, 2004
8. Rief, M., Kalhöfer, E., Karpuschewski, B.: Energiebeitrag verschiedener Kühlschmiersysteme, Werkstatt und Betrieb (2010) 9, S. 142-145
9. Karpuschewski, B., Kalhöfer, E., Joswig, D., Rief, M.: Energiebedarf bei der Herstellung von Hartmetall-Wendeschneidplatten, ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 106 (2011) 9, S. 602-605
10. Karpuschewski, B., Kalhöfer, E., Rief, M.: Energiebilanz einer Zerspanungsaufgabe, VDI-Z Spezial Werkzeuge (2012) 5, S. 50-52

Prof. Dr.-Ing. Eckehard Kalhöfer

ist Inhaber des Stiftungslehrstuhls Spanende Fertigung an der Hochschule Aalen.
eckehard.kalhoefer@htw-aalen.de

Dr. Jochen Kress ist Mitglied der Geschäftsleitung der MAPAL Dr. Kress KG.

jochen.kress@de.mapal.com

INFO: www.mapal.com

Weitere Informationen zum Thema finden Sie auf unserer Homepage oder fordern Sie bitte detaillierte Unterlagen an:

info@de.mapal.com

MAPAL Präzisionswerkzeuge Dr. Kress KG
Obere Bahnstraße 13 | 73431 Aalen
Telefon +49 7361 585-0
Telefax +49 7361 585-150



MAPAL Dr. Kress KG
Obere Bahnstraße 13 | 73431 Aalen
Telefon +49 7361 585-0 | Telefax +49 7361 585-150
info@de.mapal.com www.mapal.com