

Probleme der umwelt- und humanverträglichen Fertigung am Beispiel der Kühlschmierstoffe

Seit Beginn dieses Jahrhunderts werden fertigungstechnische Prozesse systematisch wissenschaftlich untersucht und weiterentwickelt. Lag der Forschungsschwerpunkt bislang darin, durch einen hohen Grad innovativer Neuerungen ein Maximum an Leistung bei hoher Wirtschaftlichkeit zu erzielen, so rücken in letzter Zeit zunehmend ökologische Gesichtspunkte in den Vordergrund. Diese umweltrelevanten Aspekte waren in der Vergangenheit, wenn überhaupt, nur am Rande beachtet worden. Der gesellschaftliche Wandel und die damit verbundene zunehmende Sensibilisierung in Umwelt- und Gesundheitsfragen spiegelt sich wider in einer steigenden Anzahl gesetzlicher Regelungen sowie einer wachsenden Zahl nationaler und internationaler Normen. Und auch die Industrie kommt heutzutage nicht mehr umhin, Entwicklungen im Bereich der Fertigungstechnik in engem Zusammenhang mit ihrer Umweltverträglichkeit zu bewerten. – 1. Teil von Prof. Dr.-Ing. Uwe Heisel und Dipl.-Ing. Marcel Lutz ¹⁾.

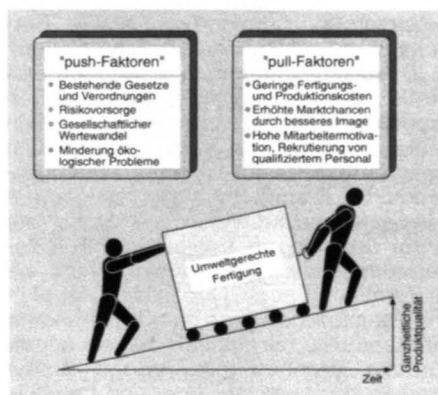
Die durch den Gesetzgeber auferlegten Beschränkungen führen nicht nur zu Einschränkungen und Schwierigkeiten bei der Anwendung bestimmter Fertigungsprozesse und zu erhöhten Kosten, sondern zwingen uns auch, neue und alternative Prozeßbedingungen zu untersuchen und zu schaffen, um weiterhin internationale Konkurrenzfähigkeit bewahren zu können. Vor dem Hintergrund einer künftigen Sicherung der Konkurrenzfähigkeit der Unternehmen, stellt die umwelt- und humanverträgliche Fertigung eine technologische Herausforderung an Wissenschaftler, Ingenieure und Unternehmer dar, die in den nächsten Jahren zunehmend an Bedeutung gewinnen wird [1].

Die Ursachen, die eine Einführung der umweltverträglichen Fertigung forcieren, lassen sich in Push- und Pull-Faktoren einteilen (Abb. 1). Push-Fakto-

ren sind dabei die äußeren Zwänge, die das Unternehmen zur Überprüfung seiner Fertigungsprozesse bewegen, während Pull-Faktoren Verlockungen und Anreize darstellen [2].

An erster Stelle der Push-Faktoren stehen dabei sicherlich die bestehenden Gesetze und Verordnungen, wovon insbesondere Abfall-, Wasser-

Abb. 1: Einführung umweltgerechter Fertigungsverfahren [1]



¹⁾ Professor Dr.-Ing. Uwe Heisel ist Direktor des Instituts für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart. Dipl.-Ing. Marcel Lutz ist Leiter der Arbeitsgruppe Zerspanungstechnologie am selben Institut.

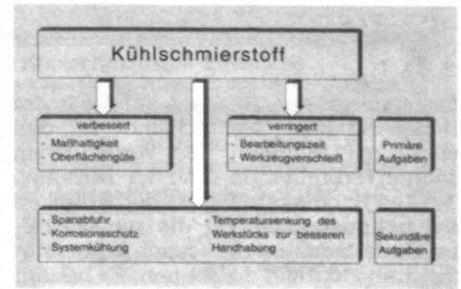


Abb. 2: Aufgaben des Kühlschmierstoffs

haushalts- und Immissionsschutzgesetzte fallen. Neue Gesetze und Verordnungen entspringen letztlich einem gesellschaftlichen Werte- und Bewußtseinswandel. Ein solcher Wertewandel kann das Image eines Unternehmens schädigen. Insbesondere in der Konsumgüterindustrie kann ein schlechter Ruf zu Absatzproblemen von Produkten dieses Herstellers führen. Aber auch wachsende Schwierigkeiten bei der Entsorgung von Abfällen und Fertigungsnebenprodukten führen zu steigender Bereitschaft in den Unternehmensführungen, ökologische Gesichtspunkte bei Fertigung und Produktion stärker zu gewichten. Dies wurde in letzter Zeit am Beispiel von Schleifschlamm besonders deutlich.

Neben Zwängen existiert aber auch eine Vielzahl von Anreizen, die ein Unternehmen dazu bewegen können, seine Fertigung umweltgerecht zu gestalten. Maßnahmen zur Rohstoffeinsparung schonen wertvolle natürliche Ressourcen und sind häufig mit einer Kosteneinsparung verbunden. Gleichzeitig eröffnen sich für Produkte, die unter umweltverträglichen Bedingungen hergestellt wurden, häufig große Marktchancen [3].

Ansätze zur Erhöhung der Umweltverträglichkeit lassen sich dadurch finden, daß man die eingesetzten Fertigungsverfahren einer genaueren Untersuchung, insbesondere in Hinblick auf ihre Wechselwirkungen mit der Umwelt, unterzieht. Im einfachsten Fall ist zu prüfen, wie ökologisch bedenkliche Einflüsse zu minimieren sind. Im Bereich der spanenden Fertigung wird eine solche Untersuchung zwangsläufig auf den häufig auch als Fertigungshilfsstoff bezeichneten Kühlschmierstoff als Problemquelle stoßen:

- Kühlschmierstoffe können zu einer Schädigung des Grundwassers führen,
- Kühlschmierstoffe können die Ursachen gesundheitlicher Probleme darstellen,
- die Verwendung von Kühlschmierstoff bringt Entsorgungsprobleme mit sich,
- Kühlschmierstoffe wirken sich nachteilig auf die Fertigungsfolge aus und
- Kühlschmierstoffe verursachen hohe Investitions-, Anlagen-, Pflege- und Entsorgungskosten.

Mit diesen fünf Schlagworten läßt sich ein Großteil der Kühlschmierstoffproblematik charakterisieren. Dennoch weisen aktuelle Statistiken ungeheure Absatzmengen bei Metallbearbeitungs-

flüssigkeiten aus. Bezogen auf die in der Bundesrepublik Deutschland in den ersten elf Monaten des vergangenen Jahres verbrauchten rund 1,1 Millionen Tonnen Schmierstoffen ist der Anteil an Kühlschmierstoffen für die metallverarbeitende Industrie statistisch betrachtet fast unbedeutend zu nennen. Er beträgt etwa 80 000 Tonnen, das entspricht gerade einmal 7 % des Gesamtverbrauchs. Die Bedeutung der Kühlschmierstoffe wird jedoch klar, wenn man die verbrauchte Menge in diesem Zeitraum im Anwendungszustand, also im Fall der Emulsionen wassergemischt, betrachtet. Diese Menge beträgt in der Bundesrepublik Deutschland knapp 670 000 Tonnen bei einer durchschnittlichen Anwendungskonzentration von 5 %. Im Fall der EG sind dies etwa 5 Mio. Tonnen. Daraus wird der ökonomisch-ökologische Aspekt des Kühlschmierstoffeinsatzes deutlich.

Der Kunstname Kühlschmierstoff nennt schon seine wichtigsten Aufgaben: Schmierung in den Kontaktzonen Werkstück/Werkzeug und Werkzeug/ Span sowie Kühlung zum Ableiten der Zerspanungswärme. Kühlschmierstoffe sollen das Zeitspannungsvolumen erhöhen und somit die Bearbeitungszeit verringern, die Standzeit der Werkzeuge steigern und die Qualität der Werkstücke hinsichtlich Oberfläche und Maßhaltigkeit verbessern.

Spanende Bearbeitung findet, tribologisch gesehen, im Gebiet der Mischreibung statt. Die Schmierung dient damit zunächst der Minderung der Reibung an der Wirkstelle. Durch spezielle Zusätze wird verhindert, daß Rauigkeitsspitzen sich gegeneinander bewegender Oberflächen verschweißen. Gleichzeitig wird die Oberflächengüte des Werkstücks verbessert.

Die zur Wirkstelle geführte mechanische Leistung, im Gebiet der Antriebsleistung, wird nahezu vollständig in einen Wärmestrom umgesetzt. Mit dem Kühlschmierstoff soll erreicht werden, daß die an der Wirkstelle entstehende Wärme möglichst schnell abgeführt wird, damit die Werkstoffeigenschaften von Werkstück und Werkzeug nicht verändert werden. Gleichzeitig sollen Wärmedehnungen verhindert werden, die zu einer Beeinträchtigung des Werkstücks hinsichtlich seiner Maßhaltigkeit führen können.

Neben der Kühlung und Schmierung als wesentliche Aufgaben eines Kühlschmierstoffs spielen das Spülvermögen und der Transport von Spänen und anderen Feststoffen eine Rolle. Diese sind einerseits von der Art des Kühlschmierstoffs abhängig, wobei besonders die Viskosität von Bedeutung ist, und andererseits von Art und Größe der Späne sowie vom Volumenstrom und Kühlschmierstoffdruck. Weiterhin sollen Kühlschmierstoffe für einen wirksamen Korrosionsschutz während der Bearbeitung und für die Zeit der Zwischenlagerung der Werkstücke sorgen, einer

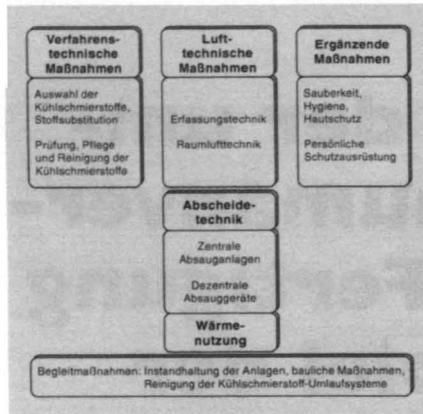


Abb. 3: Schutzmaßnahmen beim Einsatz von Kühlschmierstoffen [4]

unzulässigen Erwärmung des Systems Werkzeugmaschine, Werkzeug, Werkstück entgegenwirken und eine sichere Handhabung des Werkstücks sicherstellen.

Weitergehende Anforderungen, wie Benetzungsvermögen und Schaumverhalten, können den Zerspanungsprozeß direkt beeinflussen, aber auch als Rahmenbedingungen zur Wirtschaftlichkeit der Metallbearbeitung wesentlich beitragen. Letzterer Punkt wird beeinflusst durch Kühlschmierstoffcharakteristika wie Korrosionsschutzvermögen, Filtrierbarkeit, Alterungsbeständigkeit oder auch Bakterienresistenz.

Kuschmierstoffe sind komplexe Produkte, die sich aus einer Vielzahl verschiedener Inhaltsstoffe zusammensetzen. Basisstoffe sind in der Regel Mineralölkohlenwasserstoffe, die jedoch zum Teil oder auch vollständig durch synthetische Kohlenwasserstoffe oder Fettöle ersetzt werden können. Bei Emulsionen wird Wasser ebenfalls zu den Basisstoffen gezählt. Begleitstoffe, die bei der Synthese der Basisstoffe entstehen, sind häufig nur in geringen Spuren im verwendungsfähigen Kühlschmierstoff enthalten. Bei Emulsionen können bestimmte Begleitstoffe im Wasser, wie z. B. Nitrat, zu erheblichen Problemen während des Gebrauchs führen. Die Basisstoffe allein können in der Regel die gestellten Anforderungen nicht erfüllen. Daher werden Zusätze für die unterschiedlichen Aufgaben bzw. mit unterschiedlichen Eigenschaften beigemischt, wie z. B. Hochdruckzusätze, Korrosionsinhibitoren und Alterungsschutzstoffe, Emulgatoren sowie Entschäumer und Biozide bei Emulsionen.

Zu diesen unter dem Begriff Primärstoffe zusammengefaßten Grundstoffen kommen während des Gebrauchs von außen eingeschleppte oder nachträglich entstandene Sekundärstoffe, Reaktionsprodukte, Fremdstoffe oder Mikroorganismen hinzu [4]. Alle diese Stoffe, die unter dem Begriff Kühlschmierstoff zusammengefaßt sind, können, wenn sie in Form von Rauch, Nebel oder Dampf in die Atemluft gelangen oder bei direktem Hautkontakt, zu Gesundheitsgefahren für die Beschäftigten führen. Einige sind so stark gesundheits- und umwelt-

gefährdend, daß bereits in der Vergangenheit gewisse Additive wie z. B. Chlor weitgehend durch andere, weniger gefährliche ersetzt wurden. Die Hersteller von Kühlschmierstoffen können durch die Auswahl der Inhaltsstoffe erreichen, daß von den Primärstoffen möglichst geringe Gesundheitsgefahren ausgehen.

So konnte die Gefahr der Bildung von Nitrosaminen beim Kühlschmierstoffeinsatz durch einen Verzicht auf Amine in den Emulsions-Konzentraten weitgehend ausgeschaltet werden. In der Vergangenheit hatte Natriumnitrit im Bereich wassermischbarer Kühlschmierstoffe eine herausragende Bedeutung als Korrosionsschutzkomponente. Toxikologische Bewertungen haben den Stoff aufgrund der Reaktion von Natriumnitrit und Aminen zu den gefährlichen Nitrosaminen weitgehend vom Markt verbannt. Nitrosamine können beim Menschen Krebs an verschiedenen Organen auslösen, so daß ihre Bildung im Kühlschmierstoff unterbunden werden muß. Nach dem Stand der Erkenntnisse kann intensiver Kühlschmierstoffkontakt jedoch auch weiterhin zu einer Reihe von Erkrankungen führen: An erster Stelle stehen dabei die Hauterkrankungen, womit die häufig als Berufsdermatosen bezeichneten Hautveränderungen gemeint sind. In der Metallindustrie sind sie ein sehr ernsthaftes Problem. In manchen Betrieben sind bis zu 20 % der Beschäftigten zeitweise davon betroffen, was sowohl für den einzelnen als auch für den Betrieb schwerwiegende Folgen haben kann. Daneben besteht der konkrete Verdacht, daß Kühlschmierstoffnebel und -dämpfe auch im Bereich der Atemwege größeren Schaden anrichten können.

Zusätzliche Gefährdungspotentiale für die dem Kühlschmierstoff ausgesetzten Beschäftigten eröffnen sich durch Schwermetallverbindungen in Additiven, toxikologische Eigenschaften der Biozide, das Zusammenwirken unterschiedlicher Substanzen und die Veränderung des Kühlschmierstoffs während der Verarbeitung [5].

In der Bundesrepublik Deutschland schreibt die Gefahrstoffverordnung folgende Rangfolge der Schutzmaßnahmen vor, die sinngemäß auch für die Minderung der Exposition beim Umgang mit Kühlschmierstoffen gilt [4]:

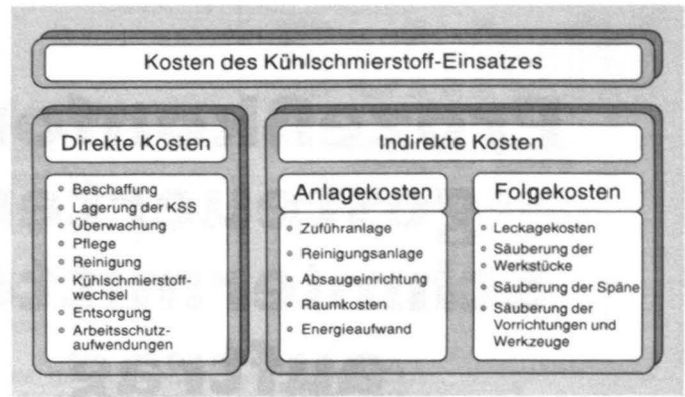
1. Vermeidung der Entstehung von Gefahrstoffen,
2. Absaugung, also Erfassung, der Gefahrstoffe an der Entstehungs- oder Austrittsstelle und
3. Maßnahmen zur Raumlüftung.

Wie läßt sich diese Rangfolge auf Schutzmaßnahmen beim Umgang mit Kühlschmierstoffen anwenden? Abb. 3 gibt zu dieser Frage einen Überblick: Verfahrenstechnische Maßnahmen sind Maßnahmen, die zur Vermeidung der Entstehung von Gefahrstoffen anzuwenden sind. Darin zusammengefaßt sind

Maßnahmen zur Stoffauswahl und Stoffsubstitution sowie zur Prüfung, Pflege und Reinigung der Kühlschmierstoffe. Unter dem Begriff Lufttechnische Maßnahmen versteht man alle Maßnahmen zur Erfassung von Gefahrstoffen, deren Fortleitung und Abscheidung. Bei der mechanischen Bearbeitung von Werkstücken muß sichergestellt werden, daß die Kühlschmierstoffe nicht in die Umgebung verspritzt werden. Daher sind die Bearbeitungsstellen in der Regel gekapselt. Öffnungsflächen für Materialtransport usw. sind zu minimieren oder mit Schürzen und dergleichen abzudecken. In vielen Fällen wird in einer gekapselten Maschine entstehender Kühlschmierstoffrauch, -nebel oder -dampf durch Absaugungen, die einen ständigen Unterdruck innerhalb der Kapselung aufrechterhalten, abgesaugt.

Die Ergänzenden Maßnahmen beschreiben den persönlichen Schutz, um beispielsweise die Aufnahme des Kühlschmierstoffs durch Verschlucken und durch Hautresorption zu vermeiden. Diese aus der Rangfolge der Schutzmaßnahmen abgeleiteten technischen und organisatorischen Maßnahmen können in den seltensten Fällen alternativ gesehen werden. Sehr häufig sind diese Maßnahmen gleichzeitig, jedoch mit unterschiedlicher Gewichtung anzuwenden. Hinzu kommen noch beglei-

Abb. 4: Kosten beim Einsatz von Kühlschmierstoffen (nach Tönshoff)



tende Maßnahmen, die die getroffenen Schutzmaßnahmen in ihrer Wirksamkeit unterstützen und während des Betriebes aufrecht erhalten sollen [4].

Am Beispiel vorbeugender Maßnahmen zur Vermeidung von Hautreizungen läßt sich die in der Praxis übliche Kombination verschiedener Schutzmaßnahmen beim Einsatz von Kühlschmierstoffen verdeutlichen. Während eine rechtzeitige Frischbefüllung und gleichzeitige Anlagenreinigung zu den begleitenden Maßnahmen zu zählen sind, lassen sich Filterung und Sauberhaltung sowie Überwachung und Kontrolle der Flüssigkeit den verfahrenstechnischen Maßnahmen zuordnen. Die Palette der Protektionsmaßnahmen wird abgerundet durch zahlreiche Möglichkeiten persönlicher Vorsorge, wie z. B. dem rechtzeitigen Wechsel verschmutz-

ter Arbeitskleidung, einer regelmäßigen Hautreinigung sowie einem geeigneten Hautschutz.

Betrachtet man die durch den Einsatz von Kühlschmierstoffen verursachten Aufwendungen in finanzieller Hinsicht, sind die Schutzmaßnahmen nur für einen Teil verantwortlich. Generell lassen sich alle durch den Einsatz von Kühlschmierstoffen verursachten Kosten in solche, die direkt dem Kühlschmierstoff zuzuordnen sind, daher auch direkte Kosten genannt, und die indirekten, also kühl-schmierstoffbedingte Nebenkosten, unterteilen (Abb. 4).

**Fortsetzung in
dima 10/93**