

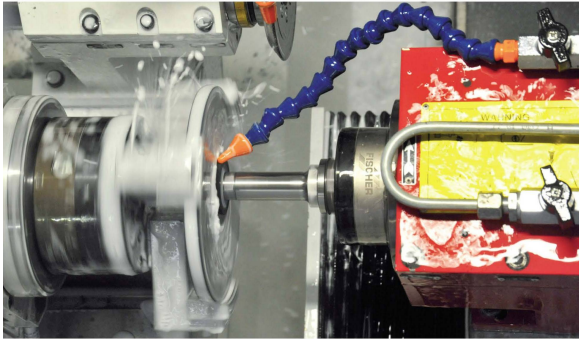


Heiko Stache (Autor)

Entwicklung und chemische Analytik eines glycerinbasierten Kühlschmierstoffs für die Metallbearbeitung

Heiko Stache

Entwicklung und chemische Analytik eines glycerinbasierten Kühlschmierstoffs für die Metallbearbeitung



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/6283>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>



1 EINLEITUNG

Der weltweit steigende Energiebedarf des Menschen und die Ausbeutung der Rohstoffreserven stellen bei einer gleichzeitig wachsenden Weltbevölkerung große Herausforderungen für eine nachhaltige Wirtschaftsentwicklung dar. Bislang werden zur Energieerzeugung hauptsächlich fossile Rohstoffe wie Kohle, Erdgas und Erdöl genutzt. 2009 lag der weltweite Primärenergieverbrauch bei etwa $1,4 \times 10^{14}$ kWh, von denen 81% durch das Verbrennen fossiler Rohstoffe erzeugt wurden [IEA, 2011]. Um der damit einhergehenden globalen Erwärmung und der Verknappung endlicher Ressourcen zu begegnen, wurden auf nationaler wie auf internationaler Ebene Strategien für eine nachhaltige Nutzung von Energieträgern erarbeitet. Die Kommission der Europäischen Union hat im Jahr 2010 einen Eckpunkteplan zur Förderung nachhaltiger, wettbewerbsfähiger und sicherer Energie vorgestellt [ECO, 2010]. Eine zentrale Forderung dieser Veröffentlichung sieht die jährliche Einsparung von 20% der heutzutage verbrauchten Energie bis zum Jahr 2020 vor. Dieses Ziel soll durch eine Steigerung der Effizienz in allen Bereichen der Energiekette – von der Erzeugung über die Verteilung bis zum Verbrauch – erreicht werden. Eine hohe Materialeffizienz, die Implementierung neuartiger Technologien und fortschrittliche Recyclingkonzepte sind hierfür unerlässlich.

Bei der Optimierung der Energie-, aber auch der Kosteneffizienz spielen Schmierstoffe eine bedeutende wirtschaftliche Rolle. Schmierstoffe vermindern die Reibung bei der relativen Bewegung zweier Festkörper zueinander [Bartz, 2010]. Dies trägt durch die Verbesserung von Prozessen der Kraftübertragung zur Einsparung von Energie, Verschleißminderung von Bauteilen, reduzierten Wartungszeiten und verlängerten Überholungsintervallen bei [Gegner, 1994a]. Die durch Reibung und Verschleiß verursachten ökologischen und ökonomischen Folgen können durch die Entwicklung und Optimierung nachhaltiger Schmierstoffe somit wirkungsvoll verringert werden.



1 Einleitung

Eine wirtschaftlich bedeutende Gruppe der Schmierstoffe bilden die Kühlschmierstoffe (KSS) für die Metallbearbeitung. Bislang basieren diese zu einem Großteil auf Produkten der erdölverarbeitenden Industrie. Allein in Deutschland wurden im Jahr 2010 über 70.000 t mineralölbasierte Kühlschmierstoffe abgesetzt [BAFA, 2010a]. Die Verwendung dieser Schmierstoffe ist nachteilig, da sie zum Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen beitragen, hinsichtlich der Human- und Umweltverträglichkeit als problematisch zu bewerten sind, zur Entstehung mineralöhlhaltiger Abfälle führen und aufgrund der Verteuerung von Mineralöl in ihrem Preis stetig steigen. Seit einigen Jahren werden deshalb in der Schmierstoffindustrie verstärkt Versuche unternommen, KSS auf Basis nachwachsender Rohstoffe oder aufgearbeiteter Abfallstoffe zu entwickeln, um damit mineralölbasierte Produkte zu ersetzen. Eine Möglichkeit stellt hier die Verwendung von Glycerin natürlichen Ursprungs als Basis eines wasserlöslichen Kühlschmierstoffs dar [Bahadir et al., 2007].

Bei der Umesterung von pflanzlichen und tierischen Fetten wird neben den Fettsäureestern auch der Alkohol Glycerin gebildet. Infolge der weltweit ansteigenden Produktion von Fettsäuremethylestern zur Verwendung als Biodiesel sind gegenwärtig große Mengen an Glycerin auf dem Markt erhältlich. In den Jahren von 2006 bis 2010 erhöhte sich die Biodieselproduktion allein in der Europäischen Union von $4,9 \times 10^6$ t auf $9,6 \times 10^6$ t [EBB, 2010], wodurch jährlich etwa 1×10^6 t Glycerin aus der Kraftstoffherstellung zur Verfügung stehen. Der Großteil des dadurch erzeugten Glycerins wird zur Energiegewinnung lediglich verbrannt. Im Sinne einer nachhaltigen Nutzung von Rohstoffen bietet sich für Glycerin, eingesetzt in KSS, eine sinnvolle Verwendungsmöglichkeit.



2 ZIELSETZUNG DER ARBEIT

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Eignung von Glycerin als wesentlichen Bestandteil eines wasserlöslichen Kühlschmierstoffs zu untersuchen und zur Entwicklung dieses KSS mit chemisch-analytischen Mitteln einen wesentlichen Beitrag zu leisten.

Glycerin ist für den Menschen gesundheitlich unbedenklich, weist aber in höheren Konzentrationen eine bakterio- und fungistatische Wirkung auf. Anhand der Verwendung von Glycerin ist deshalb in Betracht zu ziehen, auf die sonst in wasserlöslichen KSS übliche Additivierung mit Bioziden zu verzichten. Zum Nachweis der bioziden Aktivität werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit Versuche zur Bestimmung des biochemischen Sauerstoffbedarfs sowie Impfzyklentests mit Glycerin/Wasser-Mischungen und glycerinhaltigen KSS durchgeführt. Anhand der Versuchsergebnisse wird die Glycerinkonzentration ermittelt, ab der ein ausreichender Schutz des KSS gegenüber dem Befall mit Mikroorganismen gewährleistet ist.

Ein wichtiger Bestandteil dieser Arbeit ist weiterhin die Entwicklung analytischer Methoden zum Nachweis von Glycerin und der im Schmierstoff enthaltenen Additive. Durch Anwendung der Analysemethoden eröffnet sich die Möglichkeit, die Konzentrationen von Bestandteilen des KSS während dessen Anwendung zu überwachen.

Im praktischen Einsatz des KSS ist es wichtig, die Bildung humantoxischer Zersetzungs- und Reaktionsprodukte aus dem Schmierstoff auszuschließen. Somit besteht die Notwendigkeit, während der Verwendung des glycerinhaltigen KSS Emissionsmessungen am Arbeitsplatz des Maschinenpersonals zur Identifizierung flüchtiger organischer Verbindungen durchzuführen. Darüber hinaus ist die Entwicklung einer Methode für den quantitativen Nachweis von Carbonylverbindungen im KSS von Bedeutung, da hiermit im Schmierstoff gelöste Zersetzungsprodukte des Glycerins identifiziert werden könnten.

2 Zielsetzung der Arbeit

Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Arbeit befasst sich mit der Untersuchung verschiedener Glycerinqualitäten. Glycerin aus der Fettsäureester-Herstellung kann in unterschiedlichen Qualitäten erworben werden, wobei eine größere Reinheit einen höheren Preis bedingt. Hieraus ergibt sich die Aufgabenstellung, mit Hilfe analytischer Methoden zu ermitteln, welcher Aufreinigungsgrad des Glycerins für eine Verwendung im KSS mindestens erforderlich ist.

Wasserbasierte KSS zeigen im Allgemeinen eine korrosive Wirkung gegenüber Metall. Aus diesem Grund werden den KSS Korrosionsschutzadditive zugesetzt, die einen Schutz sowohl der bearbeiteten Werkstücke als auch der Werkzeugmaschine gewährleisten. Zur Bestimmung des erforderlichen Mindestgehaltes an Korrosionsschutzadditiven im Glycerin-KSS werden Korrosionsprüfungen nach DIN 51360-2 (1981) durchgeführt.

Bei der Zerspaltung von Werkstücken aus Metall fallen erhebliche Mengen an KSS-haltigen Spänen und Waschwässern als Abfallprodukte an. Eine Aufgabe im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung von Möglichkeiten zum Recycling der mit dem glycerinhaltigen KSS benetzten Späne und der Waschwässer.

Abschließend werden mit Hilfe von ökotoxikologischen Testverfahren die Gefahren eines möglichen Eintrags des Glycerin-KSS in die Umwelt im Vergleich zu handelsüblichen KSS eruiert. Anhand der Verwendung unterschiedlicher Testorganismen können die Wirkungen der KSS auf verschiedene Umweltkompartimente untersucht werden.



3 KÜHLSCHMIERSTOFFE IN DER METALLBEARBEITUNG

Nach DIN 51385 (1991) sind Kühlschmierstoffe Stoffe, die beim Trennen und teilweise beim Umformen von Werkstoffen zum Kühlen und Schmieren eingesetzt werden.

Das Trennen und das Umformen stellen zwei wichtige Fertigungsverfahren bei der Bearbeitung von Werkstoffen dar: Dem Werkstück wird durch das Entfernen von überschüssigem Material (Trennen) oder durch plastische Verformung (Umformen) eine neue Gestalt gegeben [Kajdas, 1997]. In der industriellen Fertigung entstehen insbesondere bei Metallbearbeitungsprozessen hohe Reibungskräfte und Temperaturen zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück. Durch eine wirkungsvolle Schmierung kann die Reibung an den Kontaktflächen der beiden Metallkörper vermindert werden. Dies führt zu einer Verbesserung der Kraftübertragung und dadurch auch zur Verminderung des Energiebedarfs des Bearbeitungsprozesses. Die Kühleigenschaft des KSS ermöglicht zudem die Abfuhr von Wärme. Beide Eigenschaften von KSS sind von großer Bedeutung, da der Verschleiß von teuren Werkzeugen gesenkt, die Oberflächenqualität der bearbeiteten Werkstücke verbessert und die Schnittgeschwindigkeit bei Trennverfahren erhöht werden kann [Korff, 1994], [Mang et al., 2007b], [VDI, 2007]. Eine weitere wichtige Aufgabe von KSS besteht im Transport der bei den Trennverfahren erzeugten Späne von der Bearbeitungsstelle zu Filtern oder Zentrifugen, die für eine Separation der festen Späne vom flüssigen KSS sorgen [Korff, 1994].

Neben den zentralen Aufgaben von Kühlschmierstoffen – kühlen, schmieren und spülen – sind je nach praktischer Anwendung weitere Funktionen von Bedeutung. So werden den KSS zumeist Additive zugesetzt, die den Fluiden spezifische Eigenschaften verleihen. In der Praxis finden besonders folgende Gruppen von Additiven Verwendung [VDI, 2007]:

- Korrosionsinhibitoren
- Schauminhibitoren

3 Kühlschmierstoffe in der Metallbearbeitung

- Antinebelzusätze
- Oxidationsinhibitoren
- Emulgatoren
- Konservierungsmittel
- Wirkstoffe zur Verbesserung der Schmierfähigkeit und Senkung des Materialverschleißes (Extreme Pressure/Anti Wear-Additive – EP/AW-Additive)

3.1 Systematik der Kühlschmierstoffe

Kühlschmierstoffe werden nach DIN 51385 (1991) in nichtwassermischbare und wassermischbare KSS unterteilt. Bei den wassermischbaren KSS können emulgierbare und wasserlösliche Produkte unterschieden werden. Wassermischbare KSS werden gewöhnlich als Konzentrat ausgeliefert, dem der Anwender vor dem Gebrauch Wasser zusetzen muss. Im Anwendungszustand werden die wassergemischten KSS als Kühlschmier-Emulsion oder Kühlschmier-Lösung bezeichnet [DIN 51385, 1991]. Einen Überblick zur Einteilung der KSS nach DIN 51385 (1991) gibt Abbildung 1 [Dettmer, 2006].

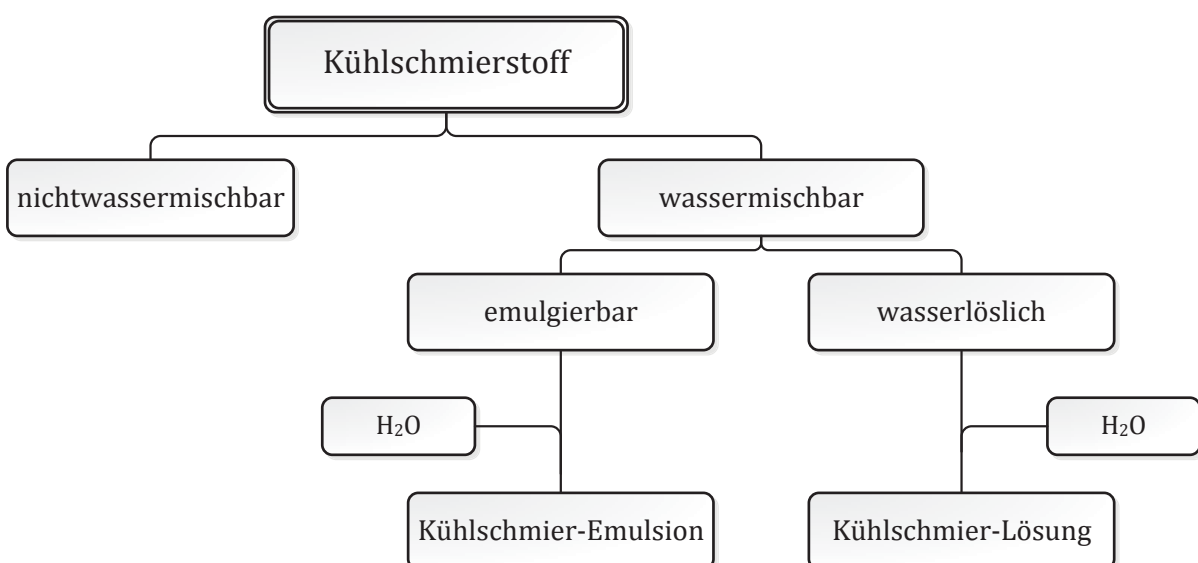


Abbildung 1: Einteilung der Kühlschmierstoffe nach DIN 51385 (1991)



3.1.1 Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe

Nichtwassermischbare KSS sind durch die unpolare chemische Struktur ihrer Komponenten gekennzeichnet. Sie bestehen aus einem wasserunlöslichen Grundöl und darin gelösten Additiven. Häufig bilden Mineralöle die Basis für nichtwassermischbare KSS. In neueren Anwendungen werden auch synthetische Öle zur Formulierung von KSS verwendet, wobei Poly- α -olefine (PAO) einen Großteil der Produkte darstellen. PAO lassen sich durch Polymerisation von Olefin-Monomeren unter kontrollierten Bedingungen herstellen. Dadurch werden chemisch einheitliche, der Anwendung angepasste Grundöle erhalten, die sich durch ihre Stabilität und vielseitige Verwendbarkeit auszeichnen [Mobil, 1999], [Mang et al., 2007b].

Nichtwassermischbare KSS weisen sehr gute Schmiereigenschaften auf, besitzen aber im Vergleich zu wassermischbaren Produkten eine deutlich geringere Kühlwirkung [Bartz, 1994], [Kajdas, 1997]. Dadurch werden nichtwassermischbare KSS bevorzugt in Trennprozessen mit niedriger Schnittgeschwindigkeit eingesetzt, bei denen eine hohe Schmierfähigkeit erforderlich ist [Kajdas, 1997].

3.1.2 Wassermischbare Kühlschmierstoffe

Die Basis für emulgierbare KSS bilden ebenso wie bei den nichtwassermischbaren KSS unpolare organische Kohlenwasserstoffverbindungen. Somit repräsentieren auch in emulgierbaren KSS insbesondere Mineralöle, aber in zunehmendem Maße auch synthetische Kohlenwasserstoffe einen Großteil der eingesetzten Grundöle. Häufig verwendete Basisflüssigkeiten der synthetischen KSS sind Polyglykole (s.S. 17) und Esteröle. Die Herstellung der Esteröle erfolgt durch die Kondensation einer Dicarbonsäure (z.B. Sebacinsäure) mit einem monovalenten Alkohol oder durch die Umsetzung einer Monocarbonsäure mit einem polyvalenten Alkohol (z.B. Pentaerythrit). Ein Charakteristikum der emulgierbaren KSS ist der Zusatz grenzflächenaktiver Substanzen zu den Basisflüssigkeiten, mit deren Hilfe eine Mischbarkeit der unpolaren Stoffe mit Wasser ermöglicht wird. Die

3 Kühlschmierstoffe in der Metallbearbeitung

anwendungsfertigen Öl-in-Wasser-Emulsionen enthalten durchschnittlich nur etwa 3% des emulgierbaren KSS; die restlichen 97% sind Leitungswasser, das dem Konzentrat vor der Verwendung zugemischt wird [Mang et al., 2007b], [VDI, 2007], [Bartz, 2010].

Wasserlösliche KSS bestehen im Gegensatz zu nichtwassermischbaren und emulgierbaren Produkten nur aus polaren Bestandteilen, die vollständig in Wasser löslich sind. Als Verschleißschutzbestandteile werden unter anderem wasserlösliche Polyalkylenglykole (s.S. 17), Phosphorsäureester und ethoxylierte Alkohole eingesetzt [Korff, 1994].

Im Vergleich zu nichtwassermischbaren KSS besitzen wassergemischte KSS bessere Kühleigenschaften. Aufgrund ihres Wasseranteils weisen sie eine größere Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität sowie eine höhere Verdampfungswärme auf. Dies ermöglicht eine gute Aufnahme der Reibungswärme beim Bearbeitungsprozess, sodass Werkzeug und Werkstück wirkungsvoll gekühlt werden [VDI, 2007]. Aufgrund dessen finden wassergemischte KSS besonders in Bearbeitungsverfahren mit hoher Schnittgeschwindigkeit und großer Wärmeentwicklung Verwendung [Mortier und Orszulik, 1997]. Speziell beim Schleifen mit wärmeempfindlichen Diamant-Schleifscheiben ist eine gute Kühlwirkung des KSS erforderlich. In Tabelle 1 sind Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität und Verdampfungswärme der Basisflüssigkeiten Mineralöl und Wasser gegenübergestellt.



Tabelle 1: Vergleich der kalorimetrischen Eigenschaften von Mineralöl und Wasser [Mang et al., 2007b]

	<i>Mineralöl</i>	<i>Wasser</i>
Wärmeleitfähigkeit <i>[W m⁻¹ K⁻¹]</i>	0,1	0,6
Wärmekapazität <i>[kW s kg⁻¹ K⁻¹]</i>	1,9	4,2
Verdampfungswärme bei 40 °C <i>[kW s kg⁻¹]</i>	-	2400

Für den Kühleffekt der Schmierstoffe sind jedoch nicht nur ihre kalorimetrischen Eigenschaften verantwortlich. Wichtige Parameter sind weiterhin die Schmierfähigkeit, Viskosität und die Benetzungsfähigkeit des KSS [VDI, 2007].

3.2 Wirtschaftliche Bedeutung von Kühlschmierstoffen

Die Absatzmengen an Schmierstoffen bewegen sich in der Bundesrepublik Deutschland seit vielen Jahren auf einem konstanten Niveau. Von 1995 bis 2010 wurden jeweils zwischen 1,0 und 1,2 Millionen Tonnen Schmierstoffe pro Jahr vertrieben. Das Jahr 2008 stellt hierbei aufgrund der Weltwirtschaftskrise mit einem Absatz von nur rund 860.000 t eine Ausnahme dar [BAFA, 2010b]. Innerhalb der Schmierstoffe bilden die Metallbearbeitungsöle eine eigene Gruppe, deren Anteil sich im Jahr 2010 auf etwa 80.000 t und damit 8% des Schmierstoffabsatzes belief. Die Metallbearbeitungsöle gliedern sich in Kühlschmierstoffe sowie Härte- und Korrosionsschutzöle, wobei die KSS die mengenmäßig größte Bedeutung besitzen [BAFA, 2010b].



3 Kühlschmierstoffe in der Metallbearbeitung

Tabelle 2: Absatzmengen von Metallbearbeitungsölen in der BRD im Jahr 2010
[BAFA, 2010b]

		<i>Absatzmenge [t]</i>	<i>anwendungs- fertig [t]</i>
<i>Metallbearbei- tungsöle</i>	<i>KSS (wassermischbar)</i>	27.548	ca. 920.000
	<i>KSS (nichtwassermischbar)</i>	42.148	42.148
	<i>Härteöle</i>	2.369	2.369
	<i>Korrosionsschutzöle</i>	7.889	7.889
	<i>gesamt</i>	79.954	ca. 970.000

Tabelle 2 zeigt, dass nichtwassermischbare KSS im Vergleich zu wassermischbaren Produkten in größeren Mengen abgesetzt wurden. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die wassermischbaren KSS als Konzentrat erworben und in durchschnittlich 3%iger Konzentration eingesetzt werden. Im anwendungsfertigen Zustand wurden 2010 deutschlandweit hochgerechnet etwa 920.000 t wassergemischte KSS verwendet. Dies unterstreicht die große Bedeutung wassermischbarer KSS in der industriellen Metallbearbeitung. Innerhalb der Gruppe der wassermischbaren KSS übersteigt der Einsatz von emulgierbaren KSS auf Basis von Mineralölen derzeit die Verwendung von Kühlschmier-Lösungen bei weitem.

Der Trend eines stagnierenden Schmierstoffabsatzes ist charakteristisch für die hoch industrialisierten Länder. Durch Fortschritte bei der Entwicklung und Anpassung der Schmierstoffe an ihre spezifischen Aufgaben konnten die Wirksamkeit verbessert und die Wechselintervalle verlängert werden. Dadurch ist auch in Zukunft nicht von einem generellen Wachstum der Schmierstoffabsätze, sondern eher von einer Vergrößerung und Diversifizierung der Produktauswahl auszugehen. In den Schwellenländern lassen sich hingegen steigende Absätze für Schmierstoffe beobachten. Dies kann durch die rasche industrielle Entwicklung besonders der Staaten Ost- und Südostasiens begründet werden.



Der weltweite Schmierstoffbedarf stieg dadurch beispielsweise in den Jahren 2004 und 2005 von 36.130.000 t auf 36.500.000 t [Mang, 2007a].

3.3 Nachteile der Verwendung konventioneller ölbasierter Kühlschmierstoffe

3.3.1 Gesundheitliche Gefahren

Einen großen Nachteil herkömmlicher KSS bildet das Gefahrenpotential gegenüber der Gesundheit des Maschinenpersonals am Arbeitsplatz. Die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung führt verschiedene Gefährdungsmöglichkeiten für die Haut, Augen sowie für innere Organe und für die Atemwege auf [DGU, 2009].

Spanende Bearbeitungsprozesse unter dem Einsatz von KSS sind stets mit einer Vernebelung der Flüssigkeit in die Umgebung verbunden. Üblicherweise wird der Schmierstoffnebel abgesaugt oder sedimentiert in einem abgetrennten Teil der Werkzeugmaschine. In der Praxis zeigt es sich jedoch, dass trotz stetig verbesserter Sicherheitsvorkehrungen vernebelte KSS weiterhin aus Werkzeugmaschinen entweichen [Mang et al., 2007b] und dadurch die Arbeitskräfte stetig gegenüber fein verteilten KSS-Aerosolen exponiert sind [Nagel et al., 2007]. Bei Werkzeugmaschinen, die mit einer Überflutungsschmierung mit mineralölbasierten KSS betrieben werden, können mittlere Tropfendurchmesser der emittierten Aerosole um 1 μm angenommen werden [Nagel und Schaber, 2006], [Nagel et al., 2007], [Mang et al., 2007b]. Tröpfchen dieser Größe können im menschlichen Atemtrakt bis in die Bronchien und Alveolen gelangen, wo toxische Substanzen durch den Organismus besonders gut resorbiert werden [Bliefert, 2002]. Vor allem Aerosole wenig raffinierter Mineralöle mit hohen Aromatengehalten gelten aufgrund der Toxizität vieler aromatischer Verbindungen [Beyer und Walter, 1991] als gesundheitlich bedenklich. Mit zunehmendem Raffinationsgrad und der damit verbundenen Reduzierung des Aromatengehalts kann die Gefährlichkeit der Schmierstoff-Aerosole verringert werden [Mang et al., 2007b]. Es ist auch

anzuführen, dass neben den Mineralölbestandteilen weitere gesundheitsschädliche Inhaltsstoffe von Schmierstoffen über Aerosole in den menschlichen Organismus gelangen [DGU, 2009].

Hautschäden durch Entwässerung und Entfettung der Hände werden insbesondere durch Grundöle, Tenside, Lösungsvermittler und Emulgatoren hervorgerufen. Daneben können hohe Konzentrationen eingetrockneter wassergemischter KSS auf der Haut oder der Kleidung des Maschinenpersonals Hautirritationen verursachen. Weiterhin ist bekannt, dass in KSS eingesetzte Substanzen wie Biozide oder Duftstoffe eine sensibilisierende Wirkung aufweisen können, deren Folge allergische Reaktionen und Ekzembildung auf der Haut sind [DGU, 2009].

3.3.2 Ökologische Gefahren

Konventionelle nichtwassermischbare und emulgierbare KSS basieren zu einem Großteil auf Mineralöl oder Produkten der Erdöl verarbeitenden Industrie. Die Herstellung dieser KSS ist deshalb mit dem Verbrauch großer Mengen an endlichen Ressourcen verbunden. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe gab die Menge der verfügbaren Erdölreserven Ende 2007 mit 157×10^9 t an [BGR, 2009]. Bei der Betrachtung des jährlichen Erdölverbrauchs von derzeit $3,9 \times 10^9$ t und immer noch weiter steigenden Förderraten wird deutlich, dass die Reserven des derzeit wichtigsten Primärenergieträgers in naher Zukunft erschöpft sein werden. Es wird erwartet, dass die Erdölförderraten zwischen den Jahren 2025 und 2035 mit etwa $4,6 \times 10^9$ t ihr Maximum erreichen werden und danach stark absinken [BGR, 2009]. Die Erschließung und Ausbeutung neuer Ölfelder wird in Zukunft mit steigenden ökologischen Risiken verbunden sein, da bereits in vielen Staaten die verfügbaren Mengen leicht zu fördernden Erdöls verbraucht sind. So sind in der Arktis und dem Golf von Mexiko trotz der Ölkatastrophe im Flussdelta des Mississippi in Folge der Explosion auf der Ölplattform „Deepwater Horizon“ im April 2010 weitere Off-shore Tiefseebohrungen geplant [FAZ, 2011]. Die Risikobereitschaft zur Verwirklichung solcher



Projekte wird durch die Nachfrage nach Produkten aus der Petrochemie beeinflusst.

Neben den Gefahren bei der Förderung und Aufbereitung von Ausgangsstoffen ist auch die Verwendung ölbasierter KSS mit ökologischen Risiken verbunden. So können die bei der spanenden Werkstückbearbeitung produzierten KSS-Aerosole nicht vollständig über Filteranlagen abgetrennt werden. Sehr kleine Anteile des Aerosols werden nicht zurückgehalten und können über Abluftanlagen in die Umwelt gelangen [Nagel und Schaber, 2006]. Dort werden Böden und Gewässer mit umweltschädlichen Ölbestandteilen kontaminiert.

Nachteile bei der Verwendung von nichtwassermischbaren KSS und Kühlschmier-Emulsionen ergeben sich weiterhin aus dem Aufkommen großer Mengen ölhaltiger KSS-Abfälle und Späne, die gesondert behandelt und entsorgt werden müssen (vgl. Kapitel 3.6). Die Ölphase kann nach der Abtrennung oft nicht recycelt werden und wird daher einer energetischen Verwertung zugeführt [VDI, 2008]. Dabei wird insbesondere das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid emittiert, das für einen Großteil der Klimaerwärmung verantwortlich ist.

Auch der Transport von KSS vom Hersteller zum Anwender oder gebrauchter KSS vom Anwender zum Entsorger stellt ein potentiell Risiko für die Umwelt dar, da die Flüssigkeiten im Falle von z.B. Unfällen oder offener Zwischenlagerung von Schleifschlämmen in der Umwelt freigesetzt werden können. Weiterhin besteht bei einer Überschwemmung der Produktionsstätte die Gefahr eines Eintrags von Schmierstoffen in die Natur.

Zusammenfassend betrachtet müssen ölbasierte KSS aufgrund des Verbrauchs nicht erneuerbarer Ressourcen bei der Herstellung, von Umwelt- und Gesundheitsrisiken während der Verwendung sowie der Produktion von Treibhausgasen bei der Entsorgung als ökologisch bedenklich eingestuft werden.

3.3.3 Ökonomische Faktoren

Die Herstellungskosten von KSS werden zu einem großen Teil durch die Preise der Rohstoffe bestimmt. Die Beschaffung von Rohöl als Ausgangsstoff für ölasierte KSS ist seit Jahren mit steigenden Kosten verbunden. Abbildung 2 zeigt, dass beispielsweise der Weltmarktpreis für ein Barrel Rohöl der Sorte Brent in den letzten zehn Jahren um Faktor fünf angestiegen ist.



Abbildung 2: Entwicklung des Rohölpreises der Sorte Brent in den Jahren 2001 bis 2011 [Deutsche Börse, 2012]

Trotz positiver und negativer Ausreißer in den Jahren 2008 und 2009 lässt sich generell der Trend eines kontinuierlich steigenden Ölpreises feststellen, der sich durch die Verknappung der Reserven in den nächsten Jahren fortsetzen wird [IEA, 2010]. Damit erscheint auch aus ökonomischen Gründen der Ersatz von KSS auf Basis von Mineralöl durch alternative Produkte sinnvoll.



3.4 Ökologisch nachhaltige Metallbearbeitung

Um den ökologischen und gesundheitsschädlichen Folgen der Verwendung konventioneller KSS sowie den Herausforderungen steigender Mineralölpreise zu begegnen, arbeiten Forschungseinrichtungen und Schmierstoffhersteller seit Jahren an der Entwicklung von KSS auf der Basis nachwachsender Rohstoffe. Im Jahr 2005 repräsentierten Bioschmierstoffe pflanzlichen und tierischen Ursprungs bereits einen Anteil von 15% der in der Metallbearbeitung eingesetzten Schmierstoffe. Das Potenzial von Bioschmierstoffen wird insgesamt auf bis zu 90% des Gesamtmarktes geschätzt, wobei zurzeit noch deren im Vergleich zu Mineralölprodukten höherer Preis eine größere Marktakzeptanz verhindert [FNR, 2007].

Basisflüssigkeiten aus pflanzlichen Rohstoffen wie Raps- oder Sonnenblumenöl werden bereits seit langer Zeit als Schmierstoffe genutzt und noch heute als ökologische Alternativen von einigen Herstellern vertrieben [Wascut, 2012], [Terralub, 2012]. Als problematisch ist bei der Verwendung dieser Schmierstoffe die Konkurrenz der pflanzlichen Öle mit der Nutzung als Lebensmittel und ihre mangelnde chemische Stabilität (Oxidation, Polymerisation) zu bewerten. Neben pflanzlichen Ölen können auch Fette tierischen Ursprungs zur Erzeugung von KSS eingesetzt werden. So können Fettsäureester aus der Umesterung von Altspeise- und Tierfett, die als Abfallprodukt in großen Mengen zu günstigen Preisen verfügbar sind, als Basisöl für KSS verwendet werden. In der praktischen Umsetzung ergeben sich hier jedoch noch einige Schwierigkeiten. Beispielsweise sind nach der Umesterung der tierischen Fette noch unlösliche freie Fettsäuren im Reaktionsmedium enthalten, die in Technikumsversuchen im Schmierstoffsystem zu Verstopfungen von Filteranlagen führten. Die freien Fettsäuren müssten somit bei der weiteren Entwicklung der Fettsäureester erfolgreich abgetrennt werden [Brenneis et al., 2006]. Außer Fetten und Ölen können auch Biopolymere die Basis ökologisch nachhaltiger KSS bilden. In der neueren Forschung erwiesen sich polymerhaltige Kühlschmier-Lösungen als technologisch recht leistungsfähige Alternativen zu Mineralölprodukten [Zein et al., 2011].

Neben der Entwicklung neuartiger KSS-Fluide bietet auch die Optimierung von Konstruktionseinheiten der Werkzeugmaschine ein gewisses Potential für die Einsparung von Ressourcen. So lässt sich beispielsweise in Schleifmaschinen mit Überflutungsschmierung der Verbrauch von KSS durch geeignete Einstellungen der KSS-Austrittsdüse reduzieren [Langemeyer und Bock, 2000]. Ein weiteres Konzept zur Verringerung des Schmierstoffvolumens stellt die Minimalmengenschmierung (MMS) dar, bei der durchschnittlich nicht mehr als 150 mL KSS je Prozessstunde verbraucht werden [VDI, 2007]. Bei der MMS wird durch Zufuhr eines Schmierstoff/Luft-Gemisches die Reibstelle zwischen Werkzeug, Werkstück und Span gezielt geschmiert. Nach der Bearbeitung werden dadurch nahezu trockene Späne und Werkstücke erhalten. Hierdurch entfällt der Aufwand für die Entölung der Späne und der Verlust an KSS wird deutlich verringert [BGI, 2006]. In einem weiteren Verfahren, der Trockenbearbeitung, werden gar keine oder nur sehr geringe Mengen (bis zu 80 mL/h) Schmierstoff eingesetzt [BGI, 2006].

Nachteile der MMS und der Trockenbearbeitung ergeben sich aus deren technisch eingeschränkter Nutzungsmöglichkeit, die nur für wenige Bearbeitungsverfahren praktisch realisiert werden kann [VDI, 2007]. Besonders für Verfahren zum Trennen mit geometrisch unbestimmter Schneide, wie dem Schleifen, ist deshalb auch die Entwicklung von neuen KSS für die Überflutungsschmierung erforderlich.

3.5 Bestandteile wassermischbarer Kühlschmierstoffe

3.5.1 Basisflüssigkeit

Die charakteristische Eigenschaft der wasserlöslichen KSS ist die vollständige Löslichkeit aller Bestandteile im Grundmedium Wasser. Kühlschmier-Lösungen enthalten im Gegensatz zu den Kühlschmier-Emulsionen keine unpolaren Basisöle, die mit Hilfe von Emulgatoren im Wasser emulgiert werden. In Kühlschmier-Emulsionen ist der Ölanteil für die Schmierwirkung verantwortlich und trägt entscheidend zum Korrosionsschutz von Werkzeug, Werkstück und