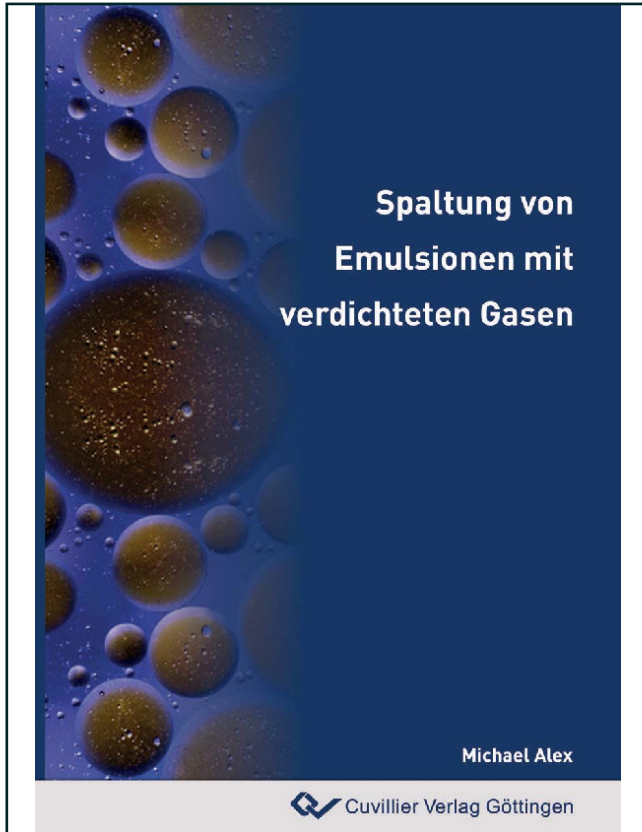




Michael Alex (Autor)

Spaltung von Emulsionen mit verdichteten Gasen



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/650>

Copyright:

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

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

1. Aufkommen Kühlschmierstoffe (KSS) und Alt-Emulsionen

In diesem Kapitel werden die Mengen anfallender Alt-Emulsionen sowie deren bislang kostenintensive Aufarbeitung beschrieben. Dazu werden die Alterungs- und Degradationsprozesse von Emulsionen näher betrachtet.

Viele Operationen der Metallbearbeitung sind ohne den Einsatz von wassergemischten Kühlschmierstoffen nicht wirtschaftlich durchzuführen. Nach dem Einzug von Kühlschmierstoffen in die Fertigungsprozesse der Metallbearbeitung (seit ca. 80 Jahren) lassen sich deutliche Reduzierungen der Anlagenstillstandszeiten sowie der Produktionsausfälle feststellen. Nach Veröffentlichungen von [Neum 1980], [Diek 1988] und [VDI 1995] zählen zu den Aufgaben der Kühlschmierung hauptsächlich:

- Verminderung der Reibung zwischen Werkstück, Werkzeug und Spänen
- Abführen der entstehenden Wärme
- Abtransport der Späne und des Abriebs

Gemäß der DIN 51 385 gilt bei Kühlschmierstoffen (KSS) als grundsätzliches Unterscheidungskriterium deren Wassermischbarkeit. Nach der Norm lässt sich folgende Einteilung vornehmen:

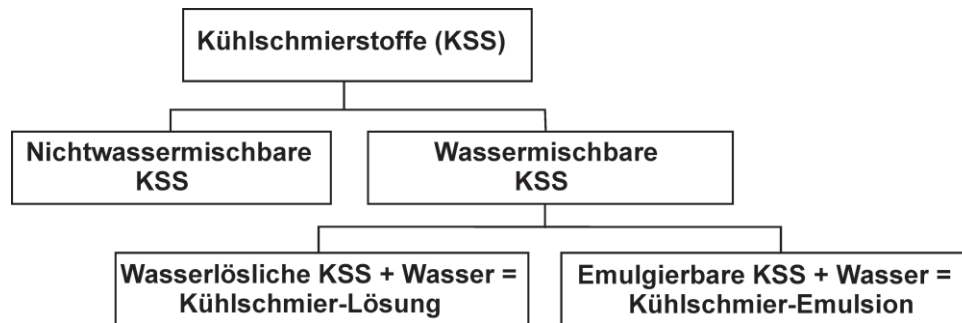


Abb. 1.01: Einteilung der KSS nach der [DIN 51 385]

Der Kostenanteil der Kühlschmierstoff (KSS)- Versorgung kann gemäß Abbildung 1.02 an den Gesamtherstellkosten von Produkten der mechanischen Fertigung nach [Kloc 1998] und [Falk 1996] bis zu 17% betragen. Darin enthalten sind die Anschaffungskosten, die Personalkosten sowie Reinigungs- und Schutzmaßnahmen.

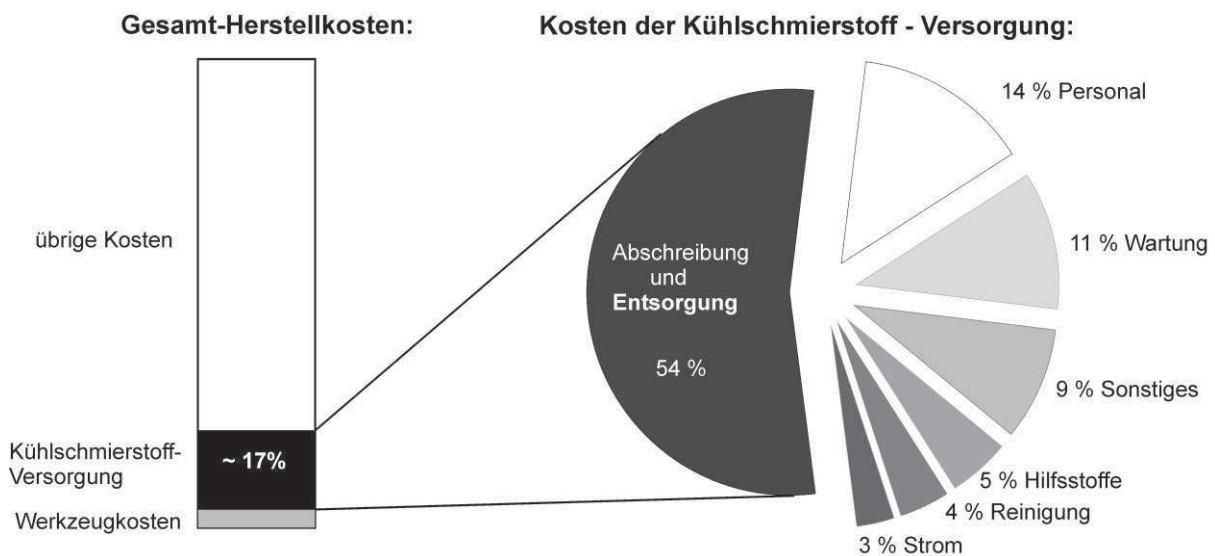


Abb. 1.02: Gesamte und anteilige Kosten beim KSS-Einsatz am Beispiel einer Zylinderkopf- und Nockenwellenfertigung

Dazu kommen die Kosten für den Ersatz ausgeschleppter Substanz, die auf den Oberflächen von metallischen Werkstücken verbleibend der Kühlschmierversorgung verloren gehen sowie die Zugabe von Additiven. Der größte Anteil der Kühlschmierstoffkosten wird durch dessen Entsorgung verursacht und kann oben genannten Veröffentlichungen zufolge 10% der Herstellkosten ausmachen.

Der Reinigung von im Betrieb befindlichen KSS sowie der Minimierung anfallender Gebrauchtemulsionen kommt somit aus Kostengründen eine besondere Bedeutung zu. Seitens der Industrie besteht ein großes Interesse an ökonomischen Emulsionsspaltverfahren.

Gemäß des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle BAFA lassen sich die Kühlschmiermittel gemeinsam mit Härteölen und Korrosionsschutzmitteln in der Produktkategorie „Metallbearbeitungsöle“ zusammenfassen. Die Substanzen entsprechen damit überwiegend den in dieser Arbeit untersuchten Industrieemulsionen aus Härtereien, Entlängsbädern und Ultrafiltrationsretentaten. Gemäß [UBA 2005] gehören zu den Metallbearbeitungsölen:

- Härteöle (einschließlich Öle zur Wärmebehandlung und Anlassöle)

Härteöle sind Mineralölemulsionen, die bei der Stahlhärtung eingesetzt werden und mit Wasser einfach entfernbar sein müssen. Nach [Reng 1978] haben sich als Emulgatoren Alkyl- und Alkylphenolpolyglykoether bewährt.

- wassermischbare Metallbearbeitungsöle (Bohr-, Schleif-, Walz- und Ziehöle)
- nicht wassermischbare Metallbearbeitungsöle (Funkenerosionsöle, Honöle, Schleif-, Schneid-, Stanz-, Walz- und Ziehöle)
- Korrosionsschutzmittel

Metallen werden durch die an die Bearbeitung anschließende Härtung gewünschte Eigenschaften verliehen. Abschrecken, d.h. plötzliches Abkühlen der Werkstücke führt zu einem erhöhten Martensit - Anteil, wenn durch Eintauchen des metallischen Werkstückes in ein Abschreckmittel in definierter Weise Wärme entzogen wird. Dabei bestimmt das Abkühlmedium die Geschwindigkeit des Kühlvorganges und somit die Eigenschaften des Werkstoffes. Mineralöle zählen zu den mild wirkenden Abkühlmitteln und eignen sich zum Härten und Anlassen. Wasser wirkt schroff abschreckend, besitzt jedoch eine starke Neigung zur Bildung von Dampf-Filmen, so dass es zur Weichfleckigkeit und zum Verziehen der Werkstücke kommen kann. Gerade beim Flamm- und Induktionshärten ist die Brandgefahr durch Verspritzen der Härteflüssigkeit aus Mineralölen sehr groß, deshalb werden üblicherweise Öl/Wasser-Emulsionen verwendet. Die Abkühl-Charakteristik kann dabei über den Öl-Anteil eingestellt werden [Over 1974], [Kopi 1960].

Mit den als Korrosionsschutzmittel benannten Emulsionen auf Mineralöl-Basis werden Metallgegenstände bei der Lagerung oder in der Anwendung zur Verhinderung von Korrosion behandelt. Die Emulsionen müssen so wasserlöslich sein, dass sie vor dem nächsten Arbeitsgang, beispielsweise der Lackierung, problemlos abgewaschen werden können. [Stach 1981] zufolge haben sich Alkylsulfonate, organische Phosphorsäureverbindungen und quartäre Amidoaminverbindungen bewährt.

In die Kategorie der wassermischbaren Stoffsysteme gehören auch die Entfettungslösungen, die die verwendeten Fette und Öle beim Bearbeiten der metallischen Werkstücke vor dem Lackieren oder Galvanisieren von der Oberfläche entfernen. Nach [Seif 1995] haben wässrige Entfettungslösungen wegen der besseren Umweltverträglichkeit zunehmend organische Reiniger (z.B. Perchlorethen oder Trichlorethen) verdrängt. Mit zunehmender Alterung der

Entfettungslösungen reichern sich im 70 - 95°C heißen Bad Öle, Fette, Schleif- und Poliermittel, feste Schmutzstoffe und komplex gebundene Metallionen in Form einer stabilen Öl-/Wasser-Emulsion an. Der Ölgehalt wird mit durchschnittlich 3% angegeben. Nach [Sper 1990] müssen diese Lösungen bei nachlassender Entfettungswirkung ausgetauscht oder regeneriert werden.

Die gealterten und kontaminierten KSS umfassen definitionsgemäß laut Abbildung 1.01 die zwei Hauptgruppen nichtwassermischbare und wassermischbare/wassergemischte Kühlschmierstoffe. Während die nichtwassermischbaren KSS zumeist problemlos der Verwertung (innerbetriebliche Aufbereitung, stoffliche Verwertung zu Basisölen, energetische Verwertung in Zementwerken) zugeführt werden können, sind wassergemischte KSS stabile Verbindungen von Wasser mit Anteilen von Öl und Zusätzen. Deshalb ist vor einer möglichen Verwertung, insbesondere der Ölphase, die Spaltung der Gemische in die Ausgangsbestandteile Öl und Wasser erforderlich (Abbildung 1.03). Die Spaltung von Emulsionen nach einem neuartigen Verfahren ist die zentrale Aufgabenstellung vorliegender Arbeit.

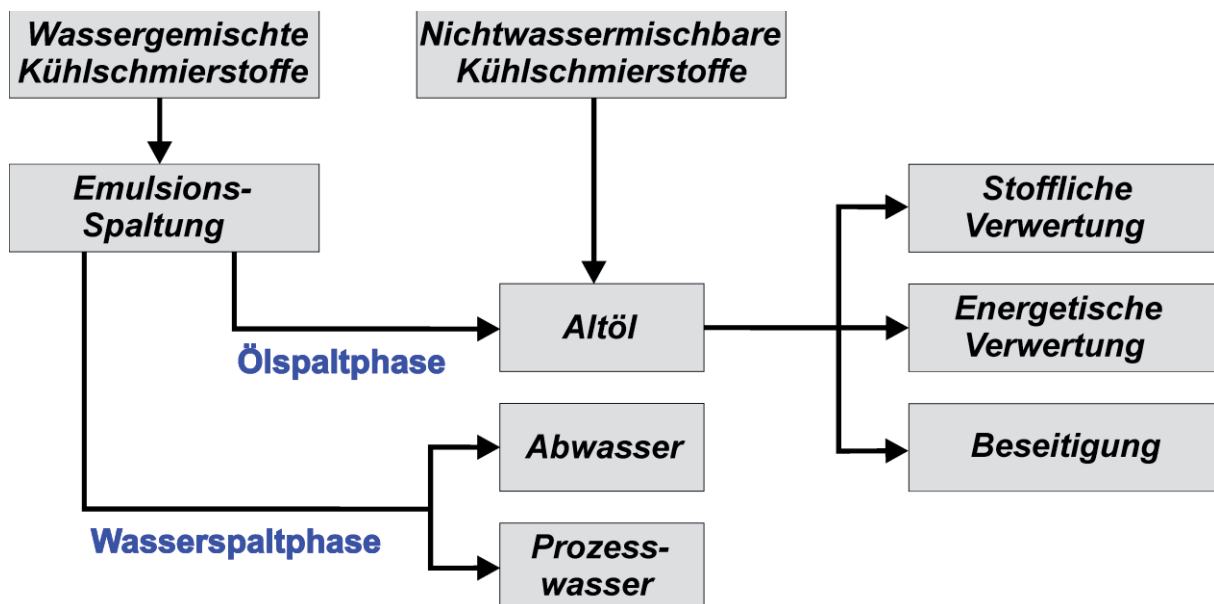


Abb. 1.03: Entsorgungswege gebrauchter Kühlschmierstoffe entsprechend ihrer Eigenschaften

Besondere Beachtung liegt auf der Qualität der Spaltphasen, die möglichst chemikalienfrei eine stoffliche Aufbereitung ermöglichen bzw. die Einleitbedingungen ins Abwasser-Kanal-system erfüllen sollen. Die nichtwassermischbaren Kühlschmierstoffe können direkt der Altölaufbereitung zugeführt werden, wassergemischte Kühlschmierstoffe müssen vorher phasen-separiert werden.

1.1 Inlandsablieferungen an Metallbearbeitungsölen

Während 1997 noch ca. 90000 t Metallbearbeitungsöle in Deutschland eingesetzt wurden, gingen die Inlandsablieferungen an Schmiermitteln in den folgenden 10 Jahren um durchschnittlich 10 % zurück. Erklärungen könnten in der zunehmenden Trockenbearbeitung von Metallwerkstücken und der verstärkten Pflege und Kontrolle während deren Einsatzes zu suchen sein. Aufgrund des großen verursachenden Kostenanteils durch die Kühlschmierstoffe werden viele Bearbeitungsprozesse auf Minder- oder Minimalmengenschmierung umgestellt

und durch geeignete Pflegemaßnahmen die Lebensdauer von Metallbearbeitungsölen und deren Emulsionen heraufzusetzen versucht.

Der Absatz von Metallbearbeitungsölen in der EU betrug 1997 gemäß Daten aus [EURO 1998] ca. 323 300 t, für 1998 gibt [EURO 1999] ca. 335 400 t an.

Die anteilige Zusammensetzung der Produktkategorie Metallbearbeitungsöle lässt sich in die vier Untergruppen „wassermischbare KSS“, „nicht wassermischbare KSS“, „Härteöle“ und „Korrosionsschutzöle“ gliedern. Dabei fällt auf, dass die prozentualen Anteile der vier Untergruppen zueinander ungefähr gleich bleiben.

Die Metallbearbeitungsöle setzen sich zu etwa 10% aus Korrosionsschutzölen und zu 2-3 % aus Härteölen zusammen. Den größten Anteil machen die Kühlschmierstoffe (KSS) aus, die an der Kategorie mit ca. 36-40% „wassermischbaren“ und etwa 49-50% „nicht wassermischbaren“ Hilfsstoffen der Metallbearbeitungsindustrie beteiligt sind [BAFA 2007].

Gebrauchte nicht wassermischbare KSS finden sich in der Bilanz der wasserfreien Altöle wieder.

1.2 Bestandteile anwendungsfertiger Kühlschmierstoffe (KSS)

Der Öl- und Wasseranteil in den Emulsionen ist bei diesen Stoffen unterschiedlich groß und abhängig von der Herkunft des Öl-/Wasser-Gemisches. In Tabelle 1.01 sind typische Prozentgehalte der wichtigsten Inhaltsstoffe in Kühlschmierstoffen aufgeführt, die allerdings als Konzentrate vorliegen und für den Einsatzzweck mit Wasser verdünnt werden.

KSS-Typ	Komponenten	Gehalte [%]
Nichtwassermischbare KSS 100% Anwendungskonzentration	Mineralöle (Basisöle)	85-90
	Synthetische/natürliche Esteröle	5-8
	Hochdruckzusätze (org. Schwefelverbindungen, org. Phosphorverbindungen, chlorierte Paraffine)	5-15
	Anionische Tenside, Antioxidantien, Ölnebelverhinderer	< 4
Klassische, emulgierbare KSS (Mineralölgehalt > 40%) 4-10% Anwendungskonzentration	Mineralöle (Basisöle)	ca. 60
	Emulgatoren	10-20
	Korrosionsinhibitoren	ca. 5
	Lösungsvermittler	ca. 5
	Hochdruckzusätze	0-10
	Biozide	ca. 5
	Wasser	1-2
Emulgierbare KSS mit niedrigem Grundölgehalt (Mineralölgehalt < 40%) 3-10% Anwendungskonzentration	Mineralöle oder synth. Ester (Basisöle)	~ 30
	Emulgatoren (nichtionisch)	10-15
	Friction modifier	5-10
	Korrosionsinhibitoren, bakteriostatisch	20-25
	Lösungsvermittler	etwa 5
	Andere Emulgatoren und Korrosionsinhibitoren	5-25
	Hochdruckzusätze	0-10
	Biozide	2-5
	Wasser	0-10

Tab. 1.01: Typische Prozentgehalte der wichtigsten Inhaltsstoffe in KSS

[UBA 2003]

Neben den Hauptkomponenten enthalten KSS je nach Einsatz Additive sowie Emulgatoren, Korrosionsinhibitoren, Hochdruckzusätze, Biozide, Komplexbildner und Antischaumbildner. Die Konzentrate werden für den Einsatzfall entsprechend verdünnt. 3-10% Anwendungskonzentration bedeutet eine 10-30 fache Verdünnung.

1.3 Zusammensetzung von Alt-Emulsionen

Nach [Vers 2003] entstehen aus den eingesetzten Kühlschmierstoffen Wasser/Öl-Mischungen im Verhältnis 11:1 bis 2:1. Die Zusammensetzung ist abhängig von den Primäraufgaben im Fertigungsprozess, wobei der Ölanteil eine Schmierwirkung und der teilweise hohe Wasseranteil eine gute Kühlleistung erwirken. Wassermischbare KSS vereinen diese positiven Eigenschaften beider Anteile und lassen Emulsionen als gut kühlende, schmierende Hilfsstoffe mit zusätzlich guten Spantransporteigenschaften entstehen. Forderungen seitens der Fertigung bestehen an eine gute Benetz- und Haftbarkeit, an den Korrosionsschutz sowie den Schutz der Schmierstellen vor Schmutz- und Wasserzutritt. Nicht selten ist die Zusammensetzung der KSS ein Kompromiss zwischen technischen Anforderungen und gesundheitlicher Verträglichkeit. Nachfolgende Tabelle enthält zusammengefasst die geschätzten Ölanteile der überwachungsbedürftigen Abfälle:

Bezeichnung	Ölanteil [%]	Zusammensetzung / Wasseranteil [%]
Bohr-, Schneid- und Schleiföle	80	viel Additive, wenig Wasser
Verbrennungsmotoren und Getriebeöle	90	~ 10 % Wasser
Synthetische Kühl- und Schmiermittel	2	
Bohr-, Wasch- und Schleifölemulsionen	5	> 80 % Wasser
Sandfangrückstände	3	1-10 % Öl, 10-30 % Feststoffe,
Öl- und Benzinabscheiderinhalte	6	70-90 % Wasser
Schlamm aus Öltrennanlagen	5	30-80 % Wasser
Schleifschlamm, ölhaltig	10	50-70 % Abrieb, 5-15 % Öl, 20-40 % Wasser

Tab. 1.02: Auswahl einiger ölhaltiger Abfälle nach Herkunft und Zusammensetzung [UBA 1997]

Die wassergemischten KSS werden hauptsächlich im Maschinenbau und der metallverarbeitenden Industrie eingesetzt und weisen einen Wassergehalt von mehr als 80 % auf; darin beträgt der emulgierte Kohlenwasserstoffanteil etwa 5 - 20 %.

Der Ölanteil unterliegt demnach Schwankungen, liegt jedoch vermehrt zwischen 1-10 %. Dabei lassen sich die Ölanteile als einmulgierte Konzentrate additiver Ölgemische verstehen. Die wassergemischten KSS werden als Entfettungsbäder, Kühl- und Schneidemulsionen und Waschwässer eingesetzt.

Durch den Anteil an Altölen in Emulsionen enthalten die Dispersionen zusätzlich verschiedene alterungsbedingte Störstoffe, die in [Alex 2009] näher betrachtet sind: Oxidations- und Abbauprodukte, Kraftstoffreste, Russpartikel und Sedimente. Des Weiteren finden sich meist durch Unachtsamkeit in die Öl-/ Wasser-Gemische gelangte Substanzen wie Lösemittel, Bremsflüssigkeit, Frostschutzmittel, Kaltreiniger oder Verdüner im dispersen Gemisch.

Schwierigkeiten bereiten jedoch die mengenmäßige Erfassung anfallender Emulsionen sowie der Spaltwasser- und Spaltölphasen. In der Literatur finden sich sehr unterschiedliche Angaben zum Aufkommen gebrauchter Öl-/Wasser-Gemische. Im Anschluss an die Darstellung der auf den Oberflächen der metallischen Werkstücke ausgetragenen Verlustmengen an KSS wird eine Abschätzung der Anfallmengen an Altemulsionen vorgenommen.

Gemäß des Forschungsberichtes [UBA 1997] wurden durch eine Analyse der Fehlmengen gesammelter Metallbearbeitungsöle im Jahre 1993 insgesamt 18 000 t Öle festgestellt, die allein durch Vernebelung, Verdunstung oder Verdampfung in die Umwelt gelangten. Der im Vergleich zu anderen Verwendungszwecken hohe Verlustanteil ist auf die offene Anwendung der Metallbearbeitungsöle zurückzuführen. Im Rahmen einer Untersuchung eines BMFT-Projektes [Luth 1995] konnte aufgrund Vernebelung und Verdampfung ein Verlustprozentsatz zwischen 20 - 50 % ermittelt werden. Ca. 5 000 t/a Mineralöle gingen dem Ölrecyclingkreislauf in metallver- und -bearbeitender Industrie durch Leckagen verloren. Somit ist die Zusammensetzung der KSS stets zu überprüfen, die Ausmagerung der Emulsionen an Ölgehalt zu verhindern und die Konzentration gegebenenfalls anzupassen. Hinzu kommen Ausschleppverluste durch Ölanhaftungen an den bearbeiteten Werkstücken und Metallspänen.

1.4 Degradation von KSS zu Alt-Emulsionen

Zur Erzielung optimaler Fertigungsergebnisse ist der KSS möglichst sauber und gekühlt zum Fertigungsprozess zu befördern. Mitgeführte feste Verunreinigungen können beim Schleifen Riefen hervorrufen, Zuleitungen verstopfen und dadurch eine ungenügende Wärmeabfuhr und Maßungenauigkeiten in der Fertigung verursachen. Die Bedeutung der KSS-Reinigung liegt also nicht nur in der Verbesserung der Oberflächengüte und der Maßgenauigkeit, sondern trägt zur Verringerung der Ausschussquote von Produkten und der Verlängerung der Werkzeugstandzeit bei. Wird der KSS wirksam gereinigt, resultieren durch die längere Gebrauchsfähigkeit geringere Mengen an Altemulsionen.

Emulsionen zeichnen sich durch eine begrenzte Lebensdauer aus. Bereits wenige Tage nach Einsatzbeginn der KSS beginnt die mikrobielle Einwirkung. Die Gebrauchsfähigkeit hängt maßgeblich von der Komposition der KSS hinsichtlich Korrosionsschutzmitteln, Stabilisatoren, Netzmitteln und Seifen ab, zugegebene Bakterizide hemmen das Bakterienwachstum. Wichtig ist die laufende Kontrolle von im Betrieb befindlichen KSS hinsichtlich pH-Wert, Ölgehalt der Emulsion und der Keimzahl. Übliche pH-Werte von KSS-Emulsionen liegen zwischen 8,0 und 9,3. Davon abweichende pH-Werte verschlechtern das Korrosionsschutzvermögen, verringern die Emulsionsstabilität und erhöhen die Gefahr von Hautirritationen. Die zunehmende Anreicherung an Schmutzstoffen sowie das Vorhandensein von Fremdflüssigkeiten, wie beispielsweise Lösungsmittel aus Waschprozessen, macht eine Reinigung oder einen Austausch der KSS erforderlich. Die Veränderung der Basisöle durch thermische Belastung oder katalytisch wirkende Metalle führt zur Bildung korrosiver Bestandteile und klebriger Ablagerungen. Meist gehen Alterungserscheinungen mit Viskositätserhöhungen einher.

Etwa 30 % aller Hauterkrankungen (z.B. Ölakne, Abnutzungsdermatose, Kontaktekzeme) gehen Untersuchungen der metallverarbeitenden Industrie zufolge auf den Umgang mit wassermischbaren KSS zurück [Lang 1994], [Mang 1980], [BAM 1990] [Sonn 1989].

Krebserregendes Potential aus KSS geht auf die Bildung von PAK (polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe) zurück, die sich unter Temperaturbelastung und Sauerstoffmangel als Pyrolyseprodukte aus Mineralölen bilden. Eine nicht ausreichende KSS - Kühlung macht einen Austausch der Fertigungshilfsstoffe unabdingbar. Bei Verwendung aromatischer Basisöle ist eine KSS-Pflege und -Überwachung unbedingt erforderlich. Insbesondere die Bildung von N-Nitrosaminen ist während des Gebrauchs von KSS unbedingt zu vermeiden. Eine Reihe von Nickel-, Cobalt-, Chrom- und Cadmiumverbindungen, die sekundär in den KSS eingetragen werden können, wirken in Tierexperimenten karzinogen [Theis 1994], [Turh 1985].

KSS gelten durch ihr Gefährdungspotential in Wasser, Boden und Luft als problematische Umweltchemikalien. Zur Vermeidung der Gefährdung des Menschen wurde beispielsweise ein Grenzwert für Aerosol- und Dampfkonzentrationen für KSS von 10 mg/m^3 in der TRGS (Technische Regeln für Gefahrstoffe) 900 festgelegt. Die TRGS 611 verankert gesetzlich eine Verwendungsbeschränkung für wassermischbare KSS, in denen N-Nitrosamine auftreten können [TRGS 611].

Aufgabe der kontinuierlichen Überwachung des KSS ist die Ermittlung des Gebrauchszustandes und die Ableitung durchzuführender Korrekturmaßnahmen. Das Abtrennen von festen Verunreinigungen wie Späne, Schlamm, biologische Abbauprodukte und Grafit aus Gusswerkstoffen, die in die Bearbeitungsflüssigkeit eingetragen werden, hat nach [Weid 2002] für die Badstandzeit einen signifikanten Stellenwert. Analog den festen haben auch die flüssigen Verunreinigungen (Fremdöle) insbesondere bei wassergemischten KSS einen direkten Einfluss auf die KSS-Lebensdauer. Fremdöle, wie beispielsweise eingeschleppte Hydraulik-, Gleitbahn- und Korrosionsschutzöle, verändern die Eigenschaften der KSS in negativer Hinsicht. Gründe für die Überwachung und Aufbereitungen sind in der Beibehaltung der Leistungsfähigkeit von KSS, der Gewährleistung der Maßgenauigkeit in der Fertigung aber auch im Gesundheitsschutz der Mitarbeiter und des Umweltschutzes gegeben.

1.5 Aufkommen an ölhaltigen, wässrigen Abfällen

1.5.1 Gebrauchte Kühlschmierstoff (KSS) -Emulsionen

[Vers 2003] beruft sich auf Veröffentlichungen des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) und beziffert die gesamte jährlich anfallende Menge an Emulsionen und Öl-/Wasser-Gemischen mit 700 000 t bei einem jährlichen KSS-Verbrauch von 75 000 t. Der Bundesverband Altöl e.V. schätzt im Vortrag von [BVA 2001], dass aus 85 000 t eingesetzter Kühlschmierstoffe pro Jahr etwa 700 000 t Emulsionen hergestellt und zu etwa 400 000 t als Altemulsionen einer Entsorgung zugeführt werden.

Überschlägige Berechnungen nach [Möll 2004] führen zu noch größeren Mengen. Im Jahre 2001 wurden in Deutschland fast 30 000 t wassermischbare KSS eingesetzt. Die Angaben decken sich mit den Zusammensetzungen der Metallbearbeitungsöle im vorigen Kapitel. Gemäß Tabelle 1.01 geht der Autor von einem durchschnittlichen Ölgehalt von etwa 3 % aus. Danach kommt es zu einem Aufkommen an wassermischbaren KSS in der Form von Altemulsionen oder -lösungen von ca. 1 000 000 t. Zusätzlich fallen aus der Kategorie der Korrosionsschutzöle mit einer jährlichen Einsatzmenge von 7000 t weitere gebrauchte disperse Systeme an. Die Verarbeitungsform dieser Öle geschieht in Form von Emulsionen, die somit die oben angegebene Menge noch beträchtlich steigern dürfte.

Insgesamt betrug der Inlandsabsatz an Schmiermitteln in der BRD im Jahre 2005 ca. 1 Mio. t, die sich in die in Abbildung 1.04 dargestellten Sortengruppen einteilen lassen. Die Metallbearbeitungsöle haben am Gesamtschmierstoffverbrauch zwar nur etwa 8,4 % Anteil, jedoch produzieren die wassermischbaren KSS und zum Teil die Härte- und Korrosionsschutzöle durch die Wasserzugabe ein enormes Abfallaufkommen an Öl-/Wasser-Emulsionen.

Die Menge an Emulsionen aus Entfettungsbädern und aus Öl-/Wasser-Abscheidern kommt ebenfalls noch hinzu. Durch Reinigungsarbeiten von Tanks und Rohrleitungen sowie auf Seeschiffen kommt es zur Bildung unbeabsichtigter Dispersionen. Dabei werden häufig Tenside zum Reinigen angewendet, die zu stabilen Emulsionen beitragen können. Gemäß Tabelle 1.02 finden sich in den Dispersionen häufig noch Feststoffe, die Emulsionen zu stabilisieren vermögen. In der Literatur sind diese als „Pickering-Emulsionen“ beschrieben.