Untersuchung zum Thema:

Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren

– Kühlschmierstoffe –

Zerspanende Fertigung in mittleren und Kleinbetrieben

im Auftrag
des Ministeriums für Umwelt
Baden-Württemberg

Jürgen Dopatka

Fichtner GmbH & Co. KG
Sarweystraße 3
7000 Stuttgart 1
Tel. 07 11 / 89 95-0

Manfred Obst
Frank Siegfried

Fraunhofer-Institut für
Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)
Eierstraße 46
D-7000 Stuttgart 1
Tel. 07 11 / 970-00

Stuttgart, Mai 1993

Herausgeber:
Geschäftsstelle der ABAG
Geschäftsbereich der
SBW Sonderabfallentsorgung Baden-Württemberg GmbH
Stauferstraße 15, 7012 Fellbach 4

Mai 1993

Gedruckt auf: weiß Recycling (Inhalt)
weiß mattgestrichen Offset chlorfrei gebleicht (Umschlag)

Gesamtherstellung: Oertel + Spörer, Reutlingen

Vorwort

In Baden-Württemberg fallen jährlich 550 000 t Sonderabfälle an. Dies entspricht einem Güterzug mit der Länge von Basel bis Frankfurt.

Dieser Zug mit Rückständen unserer Wohlstandsgesellschaft muß in den nächsten Jahren kürzer werden. Die Vermeidung von Abfällen und Sonderabfällen hat somit absolute Priorität. Um dieses Ziel zu erreichen, ist ein Umdenken in den Betrieben erforderlich. Wurde in der Vergangenheit die Qualität bei der Produktion allein daran gemessen, was erzeugt wird, so wird es in Zukunft entscheidend darauf ankommen, möglichst ressourcenschonend und abfallarm zu produzieren.

Ein Optimum – kein Maximum – von Gütern und Dienstleistungen muß mit einem Minimum an Energie- und Rohstoffverbrauch und Umweltbelastung erbracht werden.

Deshalb müssen Stoffkreisläufe geschaffen werden, damit wertvolle Rohstoffe so lange wie möglich im Produktionsprozeß verbleiben. Es müssen die Produktionsprozesse darauf überprüft werden, bei welchen Produktionsschritten bestimmte umweltbelastende Einsatzstoffe durch geeignetere Stoffe ersetzt werden können. Hier sind in erster Linie die Betriebe gefragt, die mit ihrer Produktion Abfälle erzeugen und die Umwelt belasten. Die Industrie muß zukünftig vorrangig in abfallarme Produktionsverfahren investieren.

Mit der 1991 eingerichteten Abfallberatungsagentur stellt das Land den investitionsbereiten Betrieben ein Beratungsinstrument an die Seite. Die Abfallberatungsagentur soll zunächst abfallarme Produktionsverfahren erkunden und die Entwicklung gegenüber der Vergabe von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben initiieren. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen im Wege der individuellen Beratung und der allgemeinen Information an die gewerbliche Wirtschaft und die technischen Fachbehörden weitergegeben werden.

Ein wesentlicher Eckpfeiler der gegenwärtigen Arbeit der Abfallberatungsagentur ist die Betreuung der im Auftrag des Umweltministeriums durchgeführten Untersuchungen zum Thema „Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren". Im Rahmen dieser Arbeit werden in mehreren Betrieben Baden-Württembergs die Möglichkeiten untersucht, in den Betrieben anfallende Abfälle zu vermeiden oder zu verwerten. Des weiteren wird bei den Untersuchungen darauf Wert gelegt, die betriebswirtschaftliche Seite der technisch verfügbaren Möglichkeiten auszuleuchten.

Ich hoffe und wünsche, daß die von der Abfallberatungsagentur vorgelegte Broschüre viele betroffene Betriebe dazu ermuntert, die darin enthaltenen Vorschläge in die Tat umzusetzen.

Harald B. Schäfer
Umweltminister Baden-Württemberg

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung 7

1 Einführung 10

TEIL A – Stand der Kühlschmierstoffanwendung 11

2 Grundlagen der Kühlschmierstoffanwendung 11
2.1 Aufgaben und Eigenschaften von Kühlschmierstoffen bei der Metall-Bearbeitung 11
2.2 Gliederung der Kühlschmierstoffarten 14
2.2.1 Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe (KSS-Öle) 14
2.2.2 Wassermischbare Kühlschmierstoffe 15
2.2.2.1 Emulgierbare Kühlschmierstoffe 15
2.2.2.2 Wasserlösliche Kühlschmierstoffe 16
2.2.3 Kühlschmierstoffe auf pflanzlicher Basis 16
2.2.3.1 Umweltverträglichkeit und Arbeitshygiene 16
2.2.3.2 Bestehende Betriebserfahrung 17
2.2.3.3 Entsorgung/Verwertung 17
2.3 Versorgungssysteme für Maschinen 18
2.3.1 Kühlschmierstoffversorgung in Einzelanlagen 18
2.3.2 Kühlschmierstoffversorgung aus Zentralanlagen 18
2.4 Einrichtungen zur Kühlschmierstoffpflege 19
2.4.1 Filtereinrichtungen 19
2.4.1.1 Filtereinrichtungen mit Filterhilfsmittel 19
2.4.1.2 Filtereinrichtungen ohne Filterhilfsmittel 20
2.4.2 Fremdölabscheidung 20
2.4.3 Zentrifugen 21
2.4.4 Saug-Blassysteme 22
2.5 Aufbereitung und Entsorgung verbrauchter Kühlschmierstoffe 22
2.5.1 Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe 23
2.5.2 Kühlschmierstoff-Emulsionen; Emulsionsspaltverfahren 23
2.5.3 Kühlschmierstoff-Lösungen 30

3 Abfallartenentstehung, -aufkommen, Entsorgungswege 31
3.1 Rechtsgrundlagen 31
3.2 Entstehung der Reststoffe/Abfälle und Aufkommen in Baden-Württemberg . . . 32
3.3 Gebrauchte Kühlschmierstoffe 34
3.4 Späne 34
3.5 Abgetrennte Fremdöle 34
3.6 Schleifschlämme 35
3.7 Filtervliese 35
3.8 Gebrauchte Waschemulsionen 35

	Vermeidung und Verwertung von Abfällen – Stand der Vermeidungs- und Verwertungstechnik	36
.1	Maßnahmen zur Verminderung und Vermeidung	36
.1.1	Verlängerung der Badstandzeit	36
.1.2	Verminderung der Spritz- und Austragsverluste	42
.1.3	Einsatz abfallarmer Produktionsverfahren	42
.2	Konzepte zur Verwertung oder Entsorgung	43
.2.1	Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe, KSS-Öle	43
.2.2	Kühlschmierstoff-Emulsionen	44
.2.3	Kühlschmierstoff-Lösungen	45

TEIL B –	**IST-Analyse des untersuchten Betriebes**	46

5	**Beschreibung des untersuchten Betriebes**	46
5.1	Leistungsangebot	46
5.2	Personal	47
5.3	Investitionen, Neuplanungen und Vorhaben, Untersuchungen	47

6	**Methodik und maschinelle Ausrüstung**	48
6.1	Fertigungsablauf anhand exemplarisch ausgewählter Werkstücke	48
6.2	Beschreibung der Anlagentechnik	49
6.2.1	Versorgung mit Kühlschmierstoffen	49
6.2.1.1	Wassermischbare Kühlschmierstoffe (Emulsionen)	49
6.2.1.2	Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe (Öle)	50
6.2.2	Entsorgung von Kühlschmierstoffen	51
6.2.3	Teilewaschanlage	51
6.2.4	Spänebehandlung vor der Entsorgung	52
6.2.5	Behandlung der Werkstücke nach der Zerspanung	52

7	**Bilanzierung der Stoffströme**	53
7.1	Eingesetzte Arbeitsstoffe	54
7.2	Anfallende Reststoffe	58
7.2.1	Verschleppte Kühlschmierstoffe durch Späneaustrag	61
7.2.1.1	Verschleppung von KSS-Ölen	61
7.2.1.2	Verschleppung von KSS-Emulsionen	62
7.2.2	Verschleppte Kühlschmierstoffe durch Werkstücke	62
7.2.3	Altemulsionen	64
7.2.4	Untersuchung von Leckagen	64
7.3	Untersuchung der Wasserqualität	65

TEIL C –	**Betriebsbezogene Vermeidungs- und Verwertungskonzepte**	66

8	**Bereits realisierte Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen**	66
8.1	Standardisierung der Kühlschmierstoffe	66
8.2	Reduzierung von Verschleppungen	66

8.3 Teilewaschanlage auf Wasserbasis . . . 66
8.4 Kühlschmierstoffpflegemaßnahmen . . . 67
8.4.1 Badstandzeiterhöhung durch Prozeßwasserbehandlung . . . 67
8.4.2 Regelmäßige Reinigung von Emulsionsbädern . . . 67
8.5 Verwendung von Trennblechen anstelle von Ölpapier . . . 67

9 Zukünftige Konzepte zur Vermeidung und Verwertung von Reststoffen . . . 68
9.1 Ausgangslage . . . 68
9.2 Maßnahmen zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung . . . 68
9.2.1 Wassermischbare und nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe . . . 69
9.3 Maßnahmen zur Reststoffvermeidung oder -verminderung . . . 70
9.3.1 Einsatz abfallarmer Produktionsverfahren . . . 70
9.3.2 Vereinheitlichung der eingesetzten Kühlschmierstoffe . . . 70
9.3.3 Verlängerung der Badstandzeiten durch Pflege und Überwachung . . . 71
9.3.4 Einsatz von zentralen Versorgungsanlagen . . . 71
9.3.5 Verminderung von Fremdöl- und Fremdstoffeinträgen . . . 75
9.3.6 Personalschulung und Information . . . 75
9.3.7 Recyclingmaßnahmen: Abtrennung und Rückführung der durch Späne und Werkstücke ausgetragenen KSS . . . 75
9.3.8 Verringerung der zu entsorgenden Reststoffmengen . . . 76
9.3.8.1 Spaltung von Emulsionen . . . 76
9.3.8.2 Einsatz verwertbarer Kühlschmierstoffe . . . 77
9.3.9 Einsatz von Kühlschmierstoffen mit guten Korrosionsschutzeigenschaften . . . 77

10 Abschätzung des wirtschaftlichen Umstellungsaufwands . . . 80
10.1 Kostenerfassung im untersuchten Unternehmen . . . 80
10.2 Beispielhafte Kostenbetrachtung . . . 81

11 Empfehlungen zum Entwicklungs- und Forschungsbedarf . . . 84

Literaturverzeichnis . . . 87

Anhang . . . 88

Zusammenfassung

Ausgehend vom derzeitigen Stand der Technik werden in dieser Studie Konzepte zur Reststoffvermeidung und -verminderung sowie der stofflichen Wiederverwertung von Kühlschmierstoffen (KSS) aus der zerspanenden Fertigung in kleinen und mittleren Betrieben aufgezeigt.

Bei der spanenden Metallverarbeitung werden große Mengen an Kühlschmierstoffen (Öle, Emulsionen und Lösungen) eingesetzt. Durch begrenzte Standzeiten fallen derzeit in Baden-Württemberg noch ca. 80 000 t/a an. Die Hauptmenge bilden dabei KSS-Emulsionen. Verbrauchte Kühlschmierstoffe sind insbesondere wegen ihres Ölgehalts umweltrelevant und werden als Sonderabfall eingestuft.

Bestehende Engpässe bei der Sonderabfallentsorgung erfordern dringend eine analytische Betrachtung der Fertigungsprozesse hinsichtlich der Möglichkeiten zur **Vermeidung** und **Verminderung** von Reststoffen. Die wichtigsten Ansatzpunkte sind hierbei:

- Maßnahmen zur Standzeitverlängerung von KSS- und Waschbädern:
  Eingetragene Verunreinigungen aus Maschinen, Werkstücken und der Umgebung müssen vermieden, bzw. wieder entfernt werden (Fremdölabscheidung, Filtern, Austragen von Spänen und Schlamm). Weiterhin sind kontinuierliche Badkontrollen eine Grundvoraussetzung für wirksame Pflegemaßnahmen, die z. B. ein unkontrolliertes Keimwachstum rechtzeitig verhindern. Das Zusammenfassen von Maschinengruppen mit gleichen oder ähnlichen Zerspanaufgaben zu zentralen Ver- und Entsorgungseinheiten einschließlich Kreislaufführung der Arbeitsstoffe verlängert die Standzeit durch optimierte Badpflege.

- Verminderung der Austrags- und Spritzverluste:
  Beim Einsatz von KSS-Ölen werden besonders große Mengen über Werkstücke und Späne ausgetragen. Durch Abtropfen und Zentrifugieren lassen sich ca. 90 % dieser Verschleppungen direkt zurückgewinnen. Um Spritzverluste zu vermeiden, sind wirkungsvolle Schutzwände und Maschinenkapselungen vorzusehen.

- Einsatz abfallarmer Produktionsverfahren:
  Ein Verzicht auf Kühlschmierstoffe gehört bei der Grauguß-Zerspanung zum Stand der Technik und wird derzeit für weitere Anwendungsbereiche geprüft. Der Einsatz hochwertiger Werkzeuge, neuer Werkzeug-Technologien und anderer Schmiersysteme (z. B. Sprühnebeltechnik) ermöglicht jedoch schon wesentlich reduzierte Einsatzmengen.

- Einsparung von Wascharbeitsgängen zur Werkstückreinigung.

- Vereinheitlichung der eingesetzten Kühlschmierstoffe und damit Reduzierung der Anzahl der Abfallarten.

- Konstruktive Maßnahmen an den Abdichtungen der Hydraulik- und Schmierstoffsysteme zur Reduzierung der Leckagemengen.

Verbrauchte Kühlschmierstoffe haben bei Beachtung einiger Grundregeln und Randbedingungen ein erhebliches Verwertungspotential. Die Grundvoraussetzung hierfür ist das getrennte Sammeln verschiedener KSS-Öle, Emulsionen und Lösungen. Ebenso dürfen Kühlschmierstoffe auf Pflanzenölbasis nicht mit solchen auf Mineralölbasis vermischt werden. Für die **Verwertung** von Kühlschmierstoffen gilt:

- KSS-Öle können im allgemeinen wieder wie Altöle aufgearbeitet werden.
- KSS-Emulsionen müssen mit geeigneten Verfahren (z. B. Ultrafiltration, organische Spaltung, Eindampfverfahren) aufgespalten, d. h . Wasser- und Ölphase getrennt werden. Die Spaltung

kann der Anwender, mit der Möglichkeit der Wasserwiederverwendung, selbst oder bei einem Entsorger durchführen lassen. Die Ölphase läßt sich bei einer geringen Schadstoffbelastung wieder aufarbeiten.
- KSS-Lösungen lassen sich nur schwer trennen (Verdampfung, Umkehrosmose). Die Wiederverwendung des abgetrennten Wassers ist zu prüfen.
- Die nicht verwertbaren KSS-Reststoffmengen sind vor der Entsorgung durch thermische Verfahren (Verdampfungsverfahren) zu verringern. Die KSS-Retentate mit geringen Wassergehalten werden durch Verbrennung entsorgt, die Abwässer aufbereitet und gegebenenfalls wiederverwendet.

Um zukünftig das Anforderungsspektrum an Vermeidungs- und Verwertungsmaßnahmen besser abschätzen zu können, sind gesamtheitliche Betrachtungen durchzuführen, die beim KSS-Einsatz neben der Abfallproblematik folgende Problemkreise zu berücksichtigen haben:

- Arbeitshygiene,
- funktionelle Anforderungen an die Kühlschmierstoffe,
- Wirtschaftlichkeit,
- Beachtung der Abfallgesetzgebung.

Als Beispiel wurde in einem Fertigungsbereich eines mittleren Betriebes die Ist-Situation untersucht sowie Lösungsvorschläge zur Vermeidung und Verminderung von KSS-Abfällen erarbeitet.

Im Betrieb werden bereits folgende Maßnahmen umgesetzt:

- Reduzierung auf nur zwei wassermischbare und zwei nichtwassermischbare Kühlschmierstoff-Typen,
- Substitution chlorhaltiger Kühlschmierstoffe,
- Reduzierung der Verschleppung durch Abtropfen und Zentrifugieren auf ca. 10 % und dadurch Verringerung der zu entsorgenden als auch der neu zuzukaufenden KSS-Menge,
- Umstellung der Teilwaschanlage von CKW-Lösemitteln auf wässrige Reinigung mit alkalischem Reiniger,
- Enthärtung und Teilentsalzung des Wassers zum Ergänzen der Verdampfungsverluste bei KSS-Emulsionen,
- Verwendung von wiederverwendbaren Trennblechen anstelle von nur einmalig einsetzbarem Ölpapier zur Getrennthaltung der Werkstücke zum Schutz vor Beschädigungen.

Weitere zu empfehlende Maßnahmen sind vom Betrieb zu prüfen:

- Laufende Verbesserung der Badkontrolle und -pflege,
- Zusammenfassen weiterer Maschinen an KSS-Zentralanlagen,
- Einsatz von entmineralisiertem, vollentsalztem Wasser zum Auffrischen von Emulsionen
- Verminderung von Fremdöl- und Fremdstoffeinträgen,
- Personalschulung und Information der Mitarbeiter über neue Erkenntnisse, Maßnahmen und Erfolge sowie Getrennthaltung der Reststoffe,
- Verringerung der zu entsorgenden Mengen durch Trennung der Altemulsion in Wasser- und Ölphase mittels Ultrafiltration oder Eindampfverfahren,
- Wiederverwertung der Wasserphase aus der Emulsionsspaltung,
- Externe Aufbereitung der chlorfreien Ölphase als Altöl durch Zweitraffination,
- Einbindung der Waschanlagen in das Entsorgungskonzept.

Eine grobe Abschätzung des zur Verfügung stehenden Investitionsvolumens für anlagentechnische Maßnahmen ergibt sich zunächst aus dem Kostenpotential für eingesparte Arbeits- und Hilfsstoffe in Verbindung mit einer Reduzierung der zu entsorgenden Reststoffe.

Es zeigte sich, daß in der betrachteten Fertigung des untersuchten Unternehmens auf der Basis von 1991 über DM 50 000,– an Entsorgungskosten für die betrachteten Reststoffe anfielen (ohne Spänevergütung). Davon entfallen über DM 10 000,– auf die Sonderabfallabgabe des Landes Baden-Württemberg. Durch die Rückgabe der Späne wurden Erlöse von ca. DM 7 000,– erzielt, die eine Reduzierung der Betriebsaufwendungen herbeiführen.

Die Zukunftsperspektiven beim Einsatz von Kühlschmierstoffen in der Metallverarbeitung werden derzeit von der strengen Abfall- und Abwassergesetzgebung sowie der stärkeren Beachtung der Arbeitshygiene geprägt.

Die Erfolge zur Vermeidung von KSS-Reststoffen werden abhängig sein von

- der Ausnutzung sämtlicher Potentiale durch den Einsatz von Technologien nach dem Stand der Technik (z. B. gekapselte Saug-Blassysteme, Zentrifugen)
- der Eliminierung/Substituierung problematischer Inhaltsstoffe
- der Einsatzmöglichkeit von KSS auf pflanzlicher Basis
- dem Einsatz von sogenannten Multifunktionsölen, die sowohl als Kühlschmierstoff als auch Hydrauliköl Anwendung finden
- den Ergebnissen aus der Diskussion um wassermischbare/nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe
- der intensiven Zusammenarbeit zwischen KSS-Anwendern, Herstellern und Werkzeugmaschinenbauern zur Optimierung des KSS-Angebotes, der Pflegemaßnahmen sowie verbesserter Kühl- und Schmiersysteme.

1 Einführung

Es wird gemeinhin gefordert, daß Vermeidung und Verwertung von Abfällen bzw. Reststoffen Vorrang vor deren Beseitigung haben sollten. Die vom Gesetzgeber hierfür geschaffenen Möglichkeiten sind beträchtlich:
Entsprechende Vorgaben finden sich im Abfallgesetz (§ 1a, § 3 Abs. 2 u. 4, § 4 Abs. 5, § 11b Abs. 1 Nr. 4, § 14), den Entwürfen zur technischen Anleitung Abfall (TA-Abfall), Teil 3 ss, den Rechtsverordnungen nach § 14 AbfG und im BImSchG (§ 5 Abs. 1 Nr. 3) sowie dem Landesabfallgesetz.

Eines der Hindernisse, die einer breiten Umsetzung dieser Vorgaben im Wege stehen, ist das Fehlen von vorbehaltlos übertragbaren Referenztechnologien zur Abfallvermeidung und -verwertung. Die zuständigen Behörden werden im Rahmen ihres Ermessensspielraumes Einzelfallinterventionen durchführen müssen. Die hier vorliegende Broschüre soll dazu beitragen, daß dieses Ermessen fehlerfrei ausgeübt werden kann. Teilweise gelingt es auch, Referenztechnologien zu definieren.

Die vorliegende Broschüre befaßt sich mit den Abfällen/Reststoffen des für das Land Baden-Württemberg wohl bedeutsamsten Industriezweiges, der metallverarbeitenden Industrie. Innerhalb dieser Branche wird die spanende Metallbearbeitung betrachtet. Die Gründe für diese Auswahl liegen auf der Hand:
Bei der spanenden Metallbearbeitung, d. h. dem Fräsen, Drehen, Bohren, Hobeln usw. werden Kühl- und Schmierstoffe angewandt, die nach Gebrauch als Abfall (Abfallschlüssel 54402) abgegeben werden. Mit 54 608 Tonnen machten sie im Jahre 1990 einen beträchtlichen Teil des Aufkommens nachweispflichtiger Abfälle aus. Die bislang stets steigende Tendenz am Aufkommen dieser Abfallart ist u.a. auf die infolge Konkurrenzdruck gesteigerte Effizienz des baden-württembergischen Maschinenbaus zurückzuführen. Höhere Effizienz verlangt unter anderem den Einsatz größerer Mengen hochentwickelter Kühlschmierstoffe.

Die vorliegende Broschüre soll insbesondere für die Anwender und die Behörden eine Unterstützung bei der Umsetzung abfallarmer Produktionsverfahren sein. Die Tatsache, daß Anlagen zur spanenden Metallbearbeitung nicht der Genehmigungspflicht nach dem BImSchG unterliegen, erscheint nachrangig, denn die Ausführungen in dieser Broschüre sprechen für sich selbst.

Im übrigen verbleibt auch nach Wegfall des § 5.1.3 BImSchG eine ganze Reihe von Rechtsgrundlagen, in die außerdem die wasserrechtlichen Regelungen noch mit einzubeziehen sind. Aufgrund des bewußt ausführlich angelegten Kapitels 2 dieser Broschüre bietet sie die Möglichkeit eines raschen Einstiegs in die Thematik auch für denjenigen, der sich erstmalig mit den Kühlschmierstoffen befaßt.

Teil A – Stand der Kühlschmierstoffanwendung

2 Grundlagen der Kühlschmierstoffanwendung

Bei der spanenden Bearbeitung von Metallen, aber auch Materialien wie z. B. Glas und Keramik, werden Kühlschmierstoffe in umfangreichem Maße eingesetzt. Das Anforderungsprofil (Schnittgeschwindigkeit, Zerspanungsvolumen, zu bearbeitende Werkstoffe, Arbeitssicherheit, Umwelt) bestimmt Art und Zusammensetzung des einzusetzenden Kühlschmierstoffes. Ein genereller Verzicht erscheint derzeit kaum realisierbar, insbesondere wegen der ständig steigenden Anforderungen an die Fertigungsprozesse. Dennoch gibt es Bereiche, wie z. B. die Zerspanung von Grauguß, in denen die Trockenbearbeitung seit langem und in jüngster Zeit verstärkt angewendet wird /1/.

2.1 Aufgaben und Eigenschaften von Kühlschmierstoffen bei der Metall-Bearbeitung

Entsprechend dem Einsatzbereich variiert das Anforderungsprofil, das die Gewichtung der jeweiligen Eigenschaften festlegt. Vereinfacht lassen sich 3 Hauptaufgaben der Kühlschmierstoffe darstellen:

- Kühlung von Werkzeug und Werkstück,
- Schmierung zur Herabsetzung der Reibungswärme sowie der Verschleiß- und Schnittkräfte,
- Reinigung des zu bearbeitenden Werkstücks bzw. des Werkzeugs durch Wegspülen der Späne und Verunreinigungen.

Eine Hauptfunktion von Öl ist das Schmieren während Wasser primär für die Kühlung verantwortlich ist.

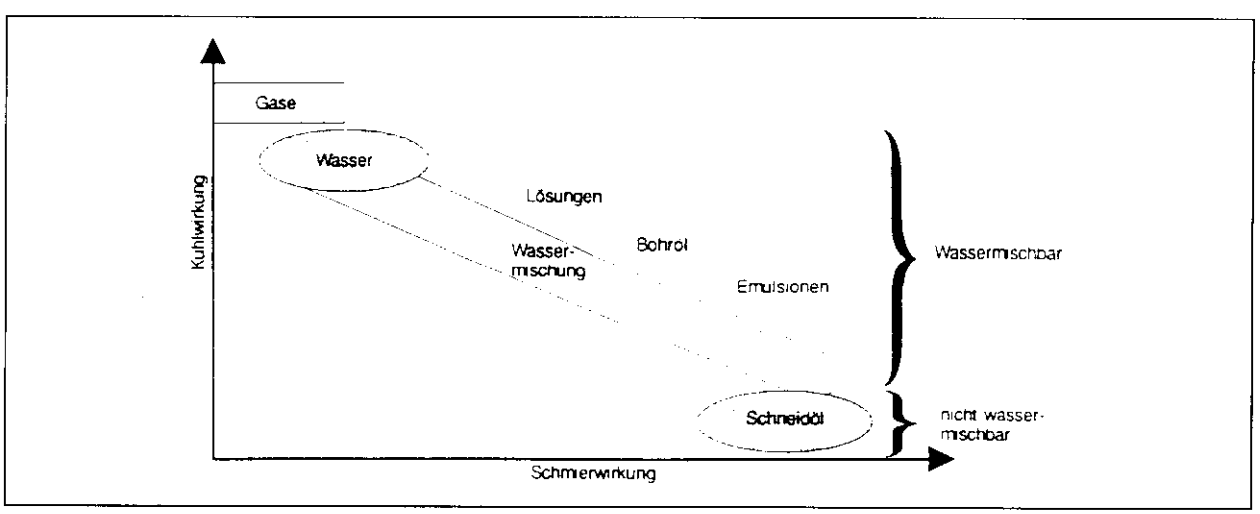


Abb. 2-1: Kühl- und Schmierwirkung von Kühlschmierstoffen

Je nach Aufgabenschwerpunkt werden daher wassermischbare oder nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe eingesetzt. Neben guten technischen Eigenschaften werden an moderne Kühlschmierstoffe heute noch weitere Anforderungen bezüglich optimaler Arbeitsplatzhygiene, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit gestellt. Forderungen nach:

- möglichst langen Standzeiten (Alterungsbeständigkeit, Biostabilität),
- Wiederverwendung und Verwertungsmöglichkeiten verbrauchter Kühlschmierstoffe

kommen daher als wichtige Beurteilungskriterien hinzu.

Auf weitere anwendungsspezifische Kriterien, wie z. B. Materialverträglichkeiten, Korrosionsschutz, Anti-Schaumverhalten usw., wird hier nicht näher eingegangen.

Die genannten Hauptfunktionen Kühlen und Schmieren haben das gemeinsame Ziel, Werkzeugstandzeiten zu verlängern und hohe Bearbeitungsqualitäten zu erreichen. Bei der Zerspanung werden ca. 75 % der eingesetzten Energie in Wärme umgewandelt (vgl. Abb. 2-2), so daß die thermische Beanspruchung neben der mechanischen maßgeblich die Standzeit beeinflußt.

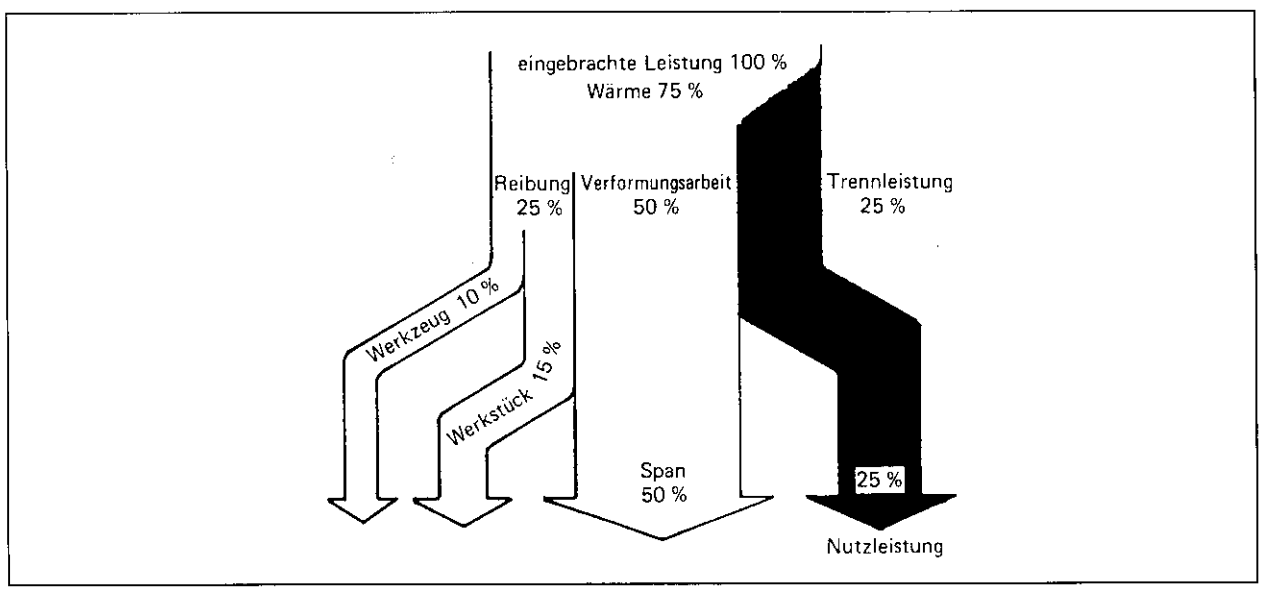


Abb. 2-2: Wärmeentstehung und -verbleib beim Drehen

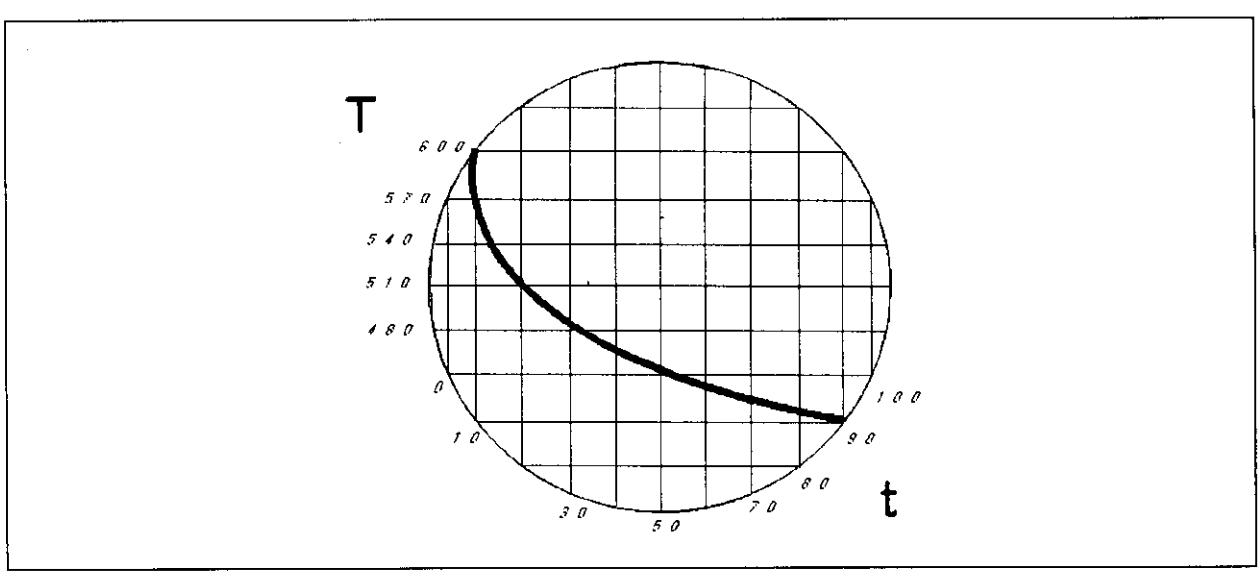


Abb. 2-3: Einfluß der Werkzeugtemperatur T [°C] auf die Werkzeugstandzeit t [min.]

Durch den Kühlschmierstoff werden einerseits Reib- und Umformkräfte reduziert und andererseits die entstandene Wärme abgeführt. Die thermische Belastung von Werkzeug und Werkstück wird verringert und damit längere Werkzeugstandzeiten bzw. höhere Schnittleistungen ermöglicht.

Bereits eine relativ geringe Temperaturabsenkung vermindert den Werkzeugverschleiß und führt zu erheblichen Standzeitverlängerungen (vgl. Abb. 2-3). Die Erzielung optimaler Oberflächengüten, der temporäre Korrosionsschutz und der Abtransport kleinerer Späne (Wegspülen) ergänzen das Aufgabenspektrum der Kühlschmierstoffe.

Wirkungsweise und Eigenschaften

Die Wirkung eines Kühlschmierstoffs setzt sich in erster Linie aus den beiden Hauptfunktionen Kühlen und Schmieren zusammen. Die Art des jeweiligen Bearbeitungsprozesses bestimmt nun, welche der beiden Funktionen Priorität hat.

Wie unterschiedlich diese Anforderungen von den Hauptbestandteilen eines jeden Kühlschmierstoffs, Wasser und Öl, erfüllt werden, verdeutlichen die physikalischen Kennwerte in Abb. 2-4.

	Wasser	**Öl**	**Wasser : Öl**
spez. Wärmekapazität (J/g*K)	4,2	1,9	2:1
Wärmeleitfähigkeit (W/m*K)	0,6	0,1	6:1
Verdampfungswärme (kJ/g)	2,3	0,2	11:1

Abb. 2-4: Physikalische Kennzahlen von Wasser und Öl

Während Wasser, und damit auch alle wassermischbaren Kühlschmierstoffe, die beste Kühlwirkung aufweisen und daher als Basis bevorzugt bei Verfahren mit hoher spezifischer Wärmeentwicklung eingesetzt werden (z. B. Drehen, Fräsen, Schleifen), weisen Öle eine wesentlich bessere Schmierwirkung auf und finden bevorzugt bei Verfahren Anwendung, bei denen die Reibung im System Werkstück/Werkzeug/Span vermindert werden muß (z. B. Honen, Gewindeschneiden). Damit der erforderliche Schmierfilm auch bei hoher Beanspruchung (Kräfte, Temperatur) stabil bleibt, wird diese Funktion oft durch Zugabe von Hochdruck oder EP-Additiven (EP = extreme pressure) unterstützt.

Für eine gute Spül- und Transportfähigkeit sind hauptsächlich Druck- und Massenstrom des KSS-Strahles sowie untergeordnet die Benetzungsfähigkeit von Bedeutung. Diese Funktion wird beim Schleifen und z. B. bei Tieflochbohroperationen besonders gefordert.

2.2 Gliederung der Kühlschmierstoffarten

Kühlschmierstoffe werden nach ihrer stofflichen Zusammensetzung eingeteilt. Nach DIN 51385 sowie VDI-Richtlinie 3396 lassen sich Kühlschmierstoffe wie folgt aufgliedern:

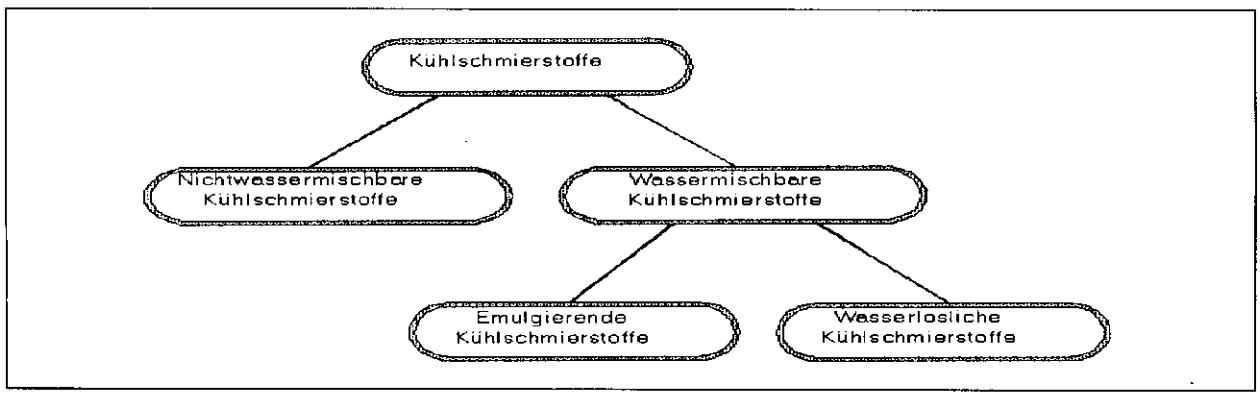


Abb. 2-5: Gliederung der Kühlschmierstoffe

Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe werden gebrauchsfertig geliefert, wassermischbare Kühlschmierstoffe in der Regel als Konzentrat, das vor Gebrauch mit Wasser zum Fertigprodukt angesetzt wird. Ausgangsbasis für die Herstellung von Kühlschmierstoffen können natürliche Öle (Mineralöle, pflanzliche und tierische Öle und Fette) oder synthetische Stoffe sein. Am weitesten verbreitet sind derzeit KSS auf Mineralölbasis.

2.2.1 Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe (KSS-Öle)

Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe wie Schneid-, Schleif-, Hon-, Automaten- oder Räumöle zeichnen sich gegenüber wassermischbaren Kühlschmierstoffen vor allem durch bessere Schmierfähigkeit, höheres Druckaufnahmevermögen sowie längere Standzeiten aus.

Als Grundöle werden meist Mineralöle eingesetzt, denen je nach Anwendungsfall recht unterschiedliche Additive zugesetzt werden:

- **Verschleißschutzadditive** verringern Reibung und Verschleiß im Mischreibungsbereich der Schnittstelle. Für den Temperaturbereich bis <= 200 °C werden polare Wirkstoffe in Form von Fettsäuren und Fettölen eingesetzt (Anti-Wear-Additive), die sich an der Metalloberfläche anlagern und damit einen Schmierfilm bilden.
  Für schwere Zerspanoperation werden Hochdruck- oder EP-Additive verwendet, die durch chemische Reaktion mit den Metalloberflächen verschleißmindernde Grenzschichten bilden. Sie sind im Temperaturbereich von 200 °C bis über 1 000 °C wirksam. Als EP-Additive werden heute fast ausschließlich Phosphor- und Schwefelverbindungen eingesetzt. Chlor ist wegen der damit verbundenen Entsorgungsprobleme weitgehend aus Kühlschmierstoffen verdrängt worden. Als Ersatz nutzt man synergistische Effekte durch Kombination verschiedener EP-Wirkstoffe. Für einige schwere Zerspan- und Umformoperationen sind Chlorparaffine derzeit jedoch noch unverzichtbar.
- **Antioxidantien** erhöhen die Alterungsbeständigkeit des Öls durch Unterbindung natürlicher Oxidationsvorgänge. Hierfür werden vorwiegend organische Sulfide, Zinkdithiophosphate und aromatische Amine eingesetzt.
- **Antischaummittel** (z. B. Siliconpolymere, Tributylphosphat) reduzieren die insbesondere bei weichem Wasser auftretende Neigung zur Schaumbildung.

- **Antinebelzusätze** sind hochmolekulare Substanzen, die das Zerreißen des Ölfilms verhindern und damit die Entstehung von Ölnebel (z. B. beim Schleifen) verringern.

Ein Nachteil der KSS-Öle ist ihre Brennbarkeit sowie die Bildung von Ölnebeln oder Qualmbildung bei hohen Temperaturen, die in vielen Fällen eine Kapselung der Maschine mit Absaugung und Abluftreinigung erforderlich machen.

2.2.2 Wassermischbare Kühlschmierstoffe

Wassermischbare Kühlschmierstoffe verbinden das Wärmeabfuhrvermögen von Wasser mit der Schmierfähigkeit chemischer Stoffe und haben deshalb gute Kühl-, Schmier- und Benetzungseigenschaften. Sie können bei allen Zerspanungsprozessen eingesetzt werden, sofern die verwendete Werkzeugmaschine ein geeignetes Schmiersystem aufweist und Spindel sowie Führungsbahnen ausreichend gegen das Eindringen des wasserhaltigen Kühlschmierstoffs abgedichtet sind. Nachteilig ist jedoch die Anfälligkeit der KSS-Emulsionen gegen mikrobielle Zersetzung, die einen wesentlich höheren Pflegeaufwand gegenüber Bearbeitungsölen erfordert und die Standzeit begrenzt.

2.2.2.1 Emulgierbare Kühlschmierstoffe

Die gebräuchlichste Form wassermischbarer Kühlschmierstoffe ist die Emulsion. Eine Emulsion ist ein disperses System, das durch Vermischen von zwei Flüssigphasen bzw. -systemen entsteht, die ineinander nicht löslich sind. Hierbei bildet die eine Flüssigkeit die innere Phase, die sich tröpfchenförmig in der Trägerflüssigkeit (der äußeren Phase) verteilt. Für die spanende Metallbearbeitung von Bedeutung sind die emulgierbaren Kühlschmierstoffe, die eine Öl-in-Wasser-Emulsion darstellen, d. h., das Öl bildet die innere Phase. An Bedeutung verlieren die emulgierenden Kühlschmierstoffe (Wasser-in-Öl-Emulsion).

Das Emulsionskonzentrat enthält einen hohen Ölanteil. Wenn das Konzentrat in Wasser angemischt wird (Ansatz ca. 4 bis 8 %), zeigt der Badansatz ein milchiges Aussehen.

Emulsionskonzentrate enthalten einen hohen Anteil an Mineralölen oder synthetischen Ölen und Wasser. Die weiteren wesentlichen Bestandteile sind nachfolgend aufgeführt:

- **Emulgatoren** sind Substanzen mit bipolarem Charakter, die die Dispersion der Öltröpfchen in Wasser ermöglichen, z. B. Tenside, Petroleumsulfonate, Alkaliseifen, Aminseifen.
- **Hochdruckzusätze (EP-Additive)** dienen als Verschleißschutz für schwere Zerspanvorgänge, hierzu werden Phosphor-, Schwefel- und vereinzelt Chlorverbindungen eingesetzt (siehe Kap. 2.2.1).
- **Korrosionsinhibitoren** dienen zum Schutz vor elektrochemischer Korrosion durch Filmbildung auf der Metalloberfläche. Hierzu zählt man Alkali- und Alkanolaminsalze von organischen Säuren, Sulfonate, Amine, organische Borverbindungen.
- **Stabilisatoren, Lösungsvermittler und Antischaummittel** ermöglichen eine dauerhafte Stabilisierung des Konzentrats, verbessern die Öllöslichkeit und unterdrücken unerwünschte Schaumbildung. Gebräuchlich sind dabei Alkohole und Glykole.
- **Antioxidantien** (siehe Kap. 2.2.1)
- **Biozide** haben die Aufgabe, wassergemischte Kühlschmierstoffe gegen Keimbefall zu schützen. Aus arbeitsmedizinischen Gründen sind ihrem Einsatz Grenzen gesetzt. Formaldehyd-Abspalter haben sich als Breitbandbiozid bewährt und lassen sich gut dosieren.

Seit einigen Jahren sind vermehrt sogenannte biostabile, teilsynthetische Kühlschmierstoffe im Einsatz, die durch spezielle Inhaltsstoffe im Konzentrat die Vermehrung von Keimen ohne zusätzliche Biozidzugabe unterbinden. Dabei ist der Mineralölanteil im Konzentrat auf ca. 40 % verringert, als Emulgator und Korrosionsinhibitor dient meist Borsäurealkanolamin.

2.2.2.2 Wasserlösliche Kühlschmierstoffe

Wasserlösliche Kühlschmierstoffe enthalten sehr wenig oder gar kein Mineralöl und werden daher auch als synthetische Kühlschmierstoffe bezeichnet. Die Hauptbestandteile sind Polyalkylenglykole und bilden im Wasser eine transparente Lösung. **Tenside** verbessern den Kontakt zum Werkstück und damit die Wärmeabfuhr durch den Kühlschmierstoff. Als **Korrosionsschutzmittel** werden Borsäureamide eingesetzt.

Die Schmierfähigkeit dieser Produkte ist aufgrund ihrer Zusammensetzung begrenzt, dagegen erzielen sie eine optimale Kühlwirkung und ermöglichen durch ihre Transparenz die Sichtkontrolle der Schnittstelle. Sie werden daher in erster Linie beim Schleifen eingesetzt. Ein weiterer Vorteil ist die geringe Anfälligkeit gegen Keimbefall, die hohe Standzeiten ermöglicht.

Die Aggressivität gegenüber verschiedenen Nichteisenmetallen begrenzt die Einsatzmöglichkeiten von Kühlschmierstofflösungen.

2.2.3 Kühlschmierstoffe auf pflanzlicher Basis

In der Vergangenheit war der Einsatz von Pflanzenölen als Schmierstoff weit verbreitet. Mit steigenden Qualitätsanforderungen und drastisch zunehmendem Bedarf wurden sie fast vollständig durch Mineralölprodukte ersetzt. Seit einigen Jahren kommen wieder verstärkt industrielle Schmierstoffe auf pflanzlicher Basis, insbesondere auf Rapsölbasis zum Einsatz, weil sich das Grundöl neben einer hervorragenden Schmierfähigkeit durch eine bessere biologische Abbaubarkeit und eine bessere Hautverträglichkeit im Vergleich zu Mineralölen auszeichnet. Um diese Schmiereigenschaften beim Einsatz als Kühlschmierstoff in Werkzeugmaschinen zu nutzen, ist eine auf das Grundöl abgestimmte Additivierung notwendig. Hiermit können die geforderten hohen Standzeiten erzielt werden.

2.2.3.1 Umweltverträglichkeit und Arbeitshygiene

Pflanzliche Öle besitzen eine wesentlich höhere biologische Abbaubarkeit als Mineralöle. Sie sind daher prädestiniert für Anwendungen der Verlustschmierung, da diese Produkte zwangsläufig in Böden oder Gewässer eingetragen werden. Bei Sägekettenhaftölen beispielsweise dominieren heute bereits Pflanzenöle.

Beim Einsatz als Kühlschmierstoff in Werkzeugmaschinen ist die biologische Abbaubarkeit nur von untergeordneter Bedeutung, da im allgemeinen nicht mit einem Eintrag in die Umwelt zu rechnen ist. Vielmehr steht hier die Hautverträglichkeit der Produkte im Vordergrund, die neben den Eigenschaften des Grundöls auch von der Additivierung mitbestimmt wird. Da Rapsöl in seinen Schmiereigenschaften Mineralölen überlegen ist, kommt man in vielen Fällen mit geringeren Konzentrationen an Verschleißschutz- und Hochdruckzusätzen aus, was sich positiv auf die Hautverträglichkeit auswirkt. Teilweise werden hierfür Additive ebenfalls auf Pflanzenölbasis eingesetzt.

Wassermischbare Produkte (Emulsionen) sind durch Pflegemaßnahmen und gezielte Zugabe von Bioziden vor Keimbefall zu schützen, hier gelten die gleichen Grundregeln wie für Mineralölprodukte (siehe Kapitel 4.1.1).

2.2.3.2 Bestehende Betriebserfahrung /2/

In Zusammenarbeit mit dem KSS-Hersteller wurden in einem metallverarbeitenden Betrieb im Rahmen eines Projekts in Teilbereichen der Fertigung Kühlschmierstoffe auf pflanzlicher Basis eingesetzt und untersucht. Hauptgrund für die Umstellung war die starke Zunahme allergischer Erkrankungen der Mitarbeiter an den Maschinen.

Im folgenden sind betriebliche Randbedingungen und derzeitige Ergebnisse aufgeführt:

- Alle Maschinen werden einzeln mit KSS versorgt; die Ölkonzentration der Emulsion beträgt ca. 7 %.
- Es wurde jeweils das komplette System Kühlschmierstoff, Hydraulik- und Bettbahnöl umgestellt.
- Die derzeitigen Standzeiten betragen ca. 3 Monate; es wird jedoch erwartet, daß diese auf bis zu 5 Monate verlängerbar sind.
- Hohe Demulgierbarkeit von Hydraulik- und Bettbahnölen auf pflanzlicher Basis hinsichtlich des Kühlschmierstoffes. Dies ist Voraussetzung für eine Abtrennung der eingetragenen Fremdöle.
- Trotz der großen Werkstoffpalette (Bronze, Messing, Kupfer, Stahl, Guß, Alu u. a.) und starker Belastung der Bäder durch Feinstäube und chemische Verbindungen wurden die technologischen Anforderungen erfüllt.
- Die Installation einer Be- und Entlüftungsanlage in den Arbeitsräumen wie bei Kühlschmierstoffen auf Mineralölbasis wird als notwendig erachtet.
- Es sind keine KSS-bedingten Erkrankungen mehr aufgetreten.
- Höhere Beschaffungspreise wurden bei ganzheitlicher Betrachtung als wirtschaftlich nachgewiesen.

Der Betrieb beabsichtigt, weitere Produktionslinien auf pflanzliche Öle umzustellen.

Den positiven Praxisergebnissen stehen weniger günstige Aussagen aus DIN- und Werksnormprüfungen über das Verhalten von Kühlschmierstoffen und Bettbahnölen entgegen. Eine Überarbeitung und möglicherweise eine Änderung der Vorschriften scheint erforderlich: Laboruntersuchungen entsprechend den bestehenden Normen ergaben für KSS auf pflanzlicher Basis insbesondere für die Parameter

- Kalziumchloridzahl,
- Reemulgierbarkeit der Emulsionsanteile,
- Schaumverhalten,
- Demulgierverhalten in Kombination mit den Bettbahnölen,
- Stabilität,
- Temperaturbeständigkeit

abweichende Ergebnisse gegenüber den bisher üblichen Toleranzwerten von Kühlschmierstoffen auf Mineralölbasis, die sich aber in der Praxis bisher nicht bestätigen.

2.2.3.3 Entsorgung/Verwertung

Die Entsorgung pflanzlicher KSS-Öle erfolgte in der Vergangenheit in erster Linie durch Verbrennung, eine gemeinsame Verwertung mit Mineralölen in der Zweitraffination scheidet aus.

Die Forderung nach Abfallvermeidung und hochwertiger stofflicher Verwertung führte daher zu einem neuen Aufbereitungsverfahren:
Die verworfenen KSS-Emulsionen bzw. KSS-Öle werden von Verunreinigungen und eingeschleppten Mineralölanteilen getrennt und anschließend in einem Mehrstufen-Verseifungsprozeß zu Fettsäuren und deren Produkten weiter aufgearbeitet. Die abgetrennten Mineralölan-

teile fallen dabei als Sonderabfall an. Das Verfahren funktioniert bisher im Technikum und wird derzeit in den Produktionsmaßstab umgesetzt. Im Rahmen eines Förderprojekts soll eine Produktionsanlage für die stoffliche Wiederverwertung zu Fettsäuren einschließlich einer biologischen Abwasserbehandlung gebaut werden.

2.3 Versorgungssysteme für Maschinen

Für die Wahl einer Einzel- oder Zentralversorgungsanlage zur Badpflege sind neben der Wirtschaftlichkeit auch die räumlichen Verhältnisse maßgebend. Die Konzeption der Einzel- oder Zentralversorgung richtet sich außerdem nach dem zu bearbeitenden Werkstoff, dem eingesetzten Bearbeitungsverfahren und dem verwendeten Kühlschmierstoff.

2.3.1 Kühlschmierstoffversorgung in Einzelanlagen

Die Versorgung von Werkzeugmaschinen mit KSS durch Einzelanlagen ist in kleineren Betrieben weit verbreitet. Sie bestehen im wesentlichen aus:

- Vorratsbehälter mit Versorgungspumpe,
- Spänesieb oder Späneförderer,
- Filtereinheit.

Vorrichtungen zur Fremdölabscheidung sollten vorhanden sein. Die Reinigung des Kühlschmierstoffs kann wahlweise auch durch mobile Filtereinrichtungen erfolgen, die in regelmäßigen zeitlichen Abständen an die Anlage angeschlossen werden. Sie verfügen häufig über eine zusätzliche Fremdöl- und Schlammabscheidung (Separator) die wesentlich zur Standzeiterhöhung der Bäder beiträgt. Mobile Systeme sind eine interessante Alternative bei einer größeren Anzahl von Kleinanlagen, da sie eine hochwertigere Kühlschmierstoffpflege mit vertretbarem Aufwand ermöglichen.

Die derzeit mit Einzelanlagen erzielten Standzeiten liegen bei ca. 2–3 Monaten, unter ungünstigen Bedingungen betragen sie nur wenige Wochen.

2.3.2 Kühlschmierstoffversorgung aus Zentralanlagen

Zentralanlagen leisten die Kühlschmierstoffversorgung und -pflege für einen größeren Maschinenpark bei dem der gleiche Kühlschmierstoff eingesetzt werden kann. Sie bestehen in der Regel aus folgenden Komponenten:

- Rückpumpstation,
- Schmutzbehälter mit Feststoffaustrag,
- Filteranlage,
- Fremdölabscheider,
- Reinbehälter mit KSS-Mischbehälter, Belüftung und Umwälzung,
- Versorgungspumpen, Druck- und Mengenregler,
- Heiz- und Kühlaggregate.

Voraussetzung für den Einsatz einer Zentralanlage ist zunächst die Vereinheitlichung des Kühlschmierstoffs und damit gleichbleibende Bedingungen an den in Frage kommenden Werkzeugmaschinen. Die wesentlichen Vorteile gegenüber Einzelanlagen sind:

- Wesentliche höhere Badstandzeiten, bis zu ca. 2 Jahren, und dadurch geringere Sonderabfallmengen
- Kostenminimierung für Wartung und Kontrolle, da die Kühlschmierstoffparameter zentral durch eine Betriebsstelle geregelt und überwacht werden.

2.4 Einrichtungen zur Kühlschmierstoffpflege

Die sachgerechte Pflege der eingesetzten Kühlschmierstoffe ist eine wichtige Voraussetzung zur Erzielung guter Bearbeitungsergebnisse und hoher Standzeiten. In den folgenden Abschnitten werden daher die wichtigsten Systeme zur Reinigung von Kühlschmierstoffen beschrieben.

2.4.1 Filtereinrichtungen

Zur Filtrierung von Kühlschmierstoffen werden Filter unterschiedlicher Bauart verwendet. Unter dem Gesichtspunkt der Abfallverminderung sind die eingesetzten Filterhilfsmittel kritisch zu betrachten, da sie zusätzlich entsorgt werden müssen. Wenn die Wahl zwischen unterschiedlichen Systemen besteht, sollten daher abfallvermindernde Filterhilfsmittel bevorzugt eingesetzt werden.

2.4.1.1 Filtereinrichtungen mit Filterhilfsmittel

Bei diesem Reinigungsverfahren wird die verschmutzte Flüssigkeit über ein papierartiges Filtervlies (z. B. Viskose) geleitet, dessen Porengröße auf die gewünschte Filterfeinheit abgestimmt ist. Dabei sind derzeit noch überwiegend Einwegvliese im Einsatz, die mit den aufgefangenen Verunreinigungen als besonders überwachungsbedürftiger Abfall entsorgt werden müssen.

Folgende Filterbauformen werden unterschieden:

- Flachbettfilter
- Trommelbandfilter
- Unterdruckfilter
- Druckfilter.

Bei der einfachsten Ausführung, den sog. **Flachbettfiltern,** liegt das Filtervlies in einer flachen Mulde, die durch das Transportband gebildet wird. Mit zunehmender Verschmutzung steigt der Durchflußwiderstand, und damit der Flüssigkeitsspiegel an und das verschmutzte Filtervlies muß entfernt und entsorgt werden.

Eine verbesserte Ausführung stellen **Trommelbandfilter** dar, bei denen das Filtervlies z. B. durch Scheiben umgelenkt wird und eine tiefe Mulde bildet. Durch die große Stauhöhe des Mediums wird eine höhere spezifische Durchflußleistung (Durchflußmenge/Filterfläche) und damit eine bessere Ausnutzung des Filtervlieses erreicht.

Unterdruckfilter erzielen noch höhere spezifische Leistungen, indem der Durchfluß durch Absaugung auf der Reinseite unterstützt wird. Unterdruckfilter werden in geschlossener Bauweise als Unterdruckkammern ausgeführt. Der Sammelbehälter für den zulaufenden und verschmutzten Kühlschmierstoff wird dabei von der darunterliegenden Filtratabsaugkammer durch den Filterboden (z. B. Spaltsieb, Lochblech o. ä.) getrennt.

Druckfilter nutzen den gleichen Effekt, indem das Filtervlies auf der Schmutzseite mit Überdruck beaufschlagt wird.

2.4.1.2 Filtereinrichtungen ohne Filterhilfsmittel

Bei den nachfolgend beschriebenen Verfahren erfolgt die Reinigung durch regenerierbare Filtermedien, die längere Zeit im Einsatz bleiben können, oder durch Ausnutzung der Dichteunterschiede durch Hydrozyklone oder Sedimentationsverfahren.

Im Bereich mittlerer Filterfeinheiten sind seit langem Systeme mit rückspülbaren Filterelementen im Einsatz, die sich sowohl zur Reinigung von Emulsionen als auch für Bearbeitungsöle eignen. Die Filterelemente, die in unterschiedlichen Bauformen, z. B. als Filterkerzen oder Wikkelkörper aus Edelstahl, ausgeführt sind, werden mechanisch oder durch Rückspülen mit Flüssigkeit abgereinigt.

Sedimentationsbehälter werden vorwiegend zur Grobreinigung des Kühlschmierstoffs eingesetzt. Sie dienen im allgemeinen gleichzeitig als Vorratsbehälter und sind mit einer Austragsvorrichtung für die abgesetzten Schmutzpartikel versehen. Die Ausführungen reichen von einfachen Absetzbecken bis zu Lamellenabscheidern, die durch ihre kompakte Bauweise wesentlich leistungsfähiger sind.

In **Hydrozyklonanlagen** wird die Flüssigkeit in eine Wirbelbewegung versetzt, die die Abscheidung der spezifisch schwereren Verunreinigungen ermöglicht. Hydrozyklone haben sich bei der Reinigung niederviskoser Kühlschmierstoffe (z. B. Rundschleifen) bewährt. Die Grenzen des Verfahrens liegen in der Trennkorngröße, so daß bei hohen Anforderungen gegebenenfalls eine zusätzliche Feinfiltration durchgeführt werden muß. Außerdem steigt durch den erforderlichen Pumpendruck der Energiebedarf und damit die Erwärmung des Kühlschmierstoffs.

Magnetabscheider werden zur Reinigung der Kühlschmierstoffe von ferritischen Spänen verwendet. Der Kühlschmierstoff wird so geleitet, daß die ferromagnetischen Verunreinigungen in den Anziehungsbereich der Magnete gelangen und von diesen zurückgehalten werden. Dabei werden kontinuierliche und diskontinuierliche Arbeitsweisen unterschieden.

Diskontinuierlich arbeitende Abscheider (z. B. Magnetstäbe) zeigen mit Zunahme der gesammelten Verunreinigungen nachlassende Reinigungswirkung.

Bei kontinuierlich arbeitenden Magnetabscheidern dreht sich eine Magnettrommel im Flüssigkeitsstrom langsam entgegen der Durchflußrichtung. Dabei werden mittels Druckwalze die Verunreinigungen ausgepreßt und mit einem Abstreifer von der Magnettrommel entfernt.

Seit einiger Zeit werden auch **Filteranlagen mit umlaufendem Endlosfilterband** angeboten, wobei das verschmutzte Filterband kontinuierlich abgereinigt wird und über einen längeren Zeitraum im Einsatz bleibt. Solche Systeme sollten, wenn damit die notwendige Filterfeinheit erreicht wird, die in der Entsorgung problematischen Papierbandfilter ersetzen.

2.4.2 Fremdölabscheidung

Während des Betriebs werden durch Werkstücke, die Maschinenhydraulik oder andere Aggregate Fremdöle in den Kühlschmierstoff eingetragen. Bei nichtwassermischbaren Kühlschmierstoffen ist eine Trennung kaum möglich, da sich die Fremdöle mit dem Kühlschmierstoff mischen. Dadurch entstehen im allgemeinen keine gravierenden Nachteile, es kann jedoch zu Konzentrationserniedrigungen der Additive und Viskositätsveränderungen kommen. Bei wassermischbaren Kühlschmierstoffen werden Fremdöle teilweise einemulgiert, ansonsten bilden sie eine Fremdölphase, die sich mit geeigneten Einrichtungen mechanisch abtrennen läßt.

Die einfachste Einrichtung zur Fremdölentfernung ist der Dekantationsbehälter. Nach ausreichender Verweilzeit schwimmen die nicht einemulgierten Fremdöle auf und können von der Oberfläche abgesaugt oder abgeskimmt werden.

Zur regelmäßigen Fremdölabscheidung werden an den Emulsionsbehältern Skimmer unterschiedlicher Bauart eingesetzt. **Scheibenskimmer** eignen sich aufgrund ihrer Bauweise für kleine Behälter, ihre Wirkung ist allerdings auf einen kleinen Oberflächenbereich begrenzt, wenn sie nicht durch eine Strömung im Behälter gezielt beaufschlagt werden.

In größeren Behältern werden **Schlauchskimmer** eingesetzt, die kontinuierlich abgestreift werden. Skimmer in Form von **Kunststoffaserbändern** besitzen durch ihre große Oberfläche eine höhere Ölaufnahmefähigkeit.

Alle diese Verfahren beruhen letztlich auf einer Schwerkraftabscheidung des Fremdöls („Aufrahmen") und sind daher in ihrer Leistungsfähigkeit begrenzt.

Eine wesentlich effektivere Fremdölabscheidung ist mit Hilfe von **Zentrifugalseparatoren** möglich. Das Öl-Emulsionsgemisch, welches dem Emulsionsbehälter sinnvollerweise aus einer oberflächennahen Absaugung entnommen wird, wird in einen Tellerseparator in drei Phasen getrennt (s. Abb. 2-6).

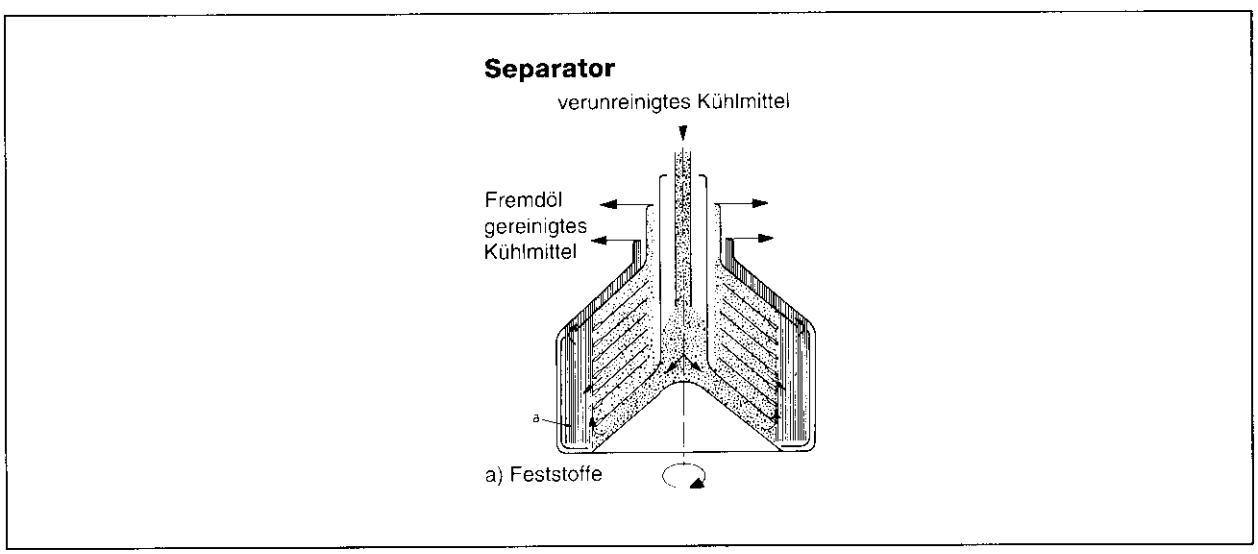


Abb. 2-6: Vollmantel-Tellertrommel eines Separators /3/

KSS-Emulsion und Fremdöl werden kontinuierlich ausgetragen, Feststoffe werden von Zeit zu Zeit, je nach Bauart, manuell oder automatisch ausgetragen. Die behandelte KSS-Emulsion wird dem Kühlschmierkreislauf wieder zugeführt. Aufgrund der hohen Investitionskosten sind Separatoren jedoch nur an Zentralanlagen bzw. als mobile Ausführung bei einer größeren Anzahl an Einzelanlagen wirtschaftlich.

2.4.3 Zentrifugen

Zentrifugen werden zur Abtrennung von Feststoffen aus Flüssigkeiten eingesetzt. Hier ist insbesondere die Trennung der Späne von anhaftendem Kühlschmierstoff von Bedeutung. Der dabei ausgetragene nichtwassermischbare Kühlschmierstoff wird anschließend wieder in den Kreislauf zurückgeführt, wobei die Wiederverwendung von wassermischbaren Kühlschmierstoffen anzustreben ist.

2.4.4 Saug-Blassysteme

Bei Saug-Blassystemen /4/ werden die Werkstückoberflächen mit einer intensiven Luftströmung abgesaugt und gleichzeitig abgeblasen. Der abgetrennte Kühlschmierstoff wird direkt wieder dem KSS-Bad zugeführt. Die Stationen sind gegenüber der Umwelt abgekapselt und der Lufthaushalt so ausgeglichen, daß keine KSS-Nebel ins Freie gelangen können.

Insbesondere beim Einsatz nichtwassermischbarer KSS sind die Austragsverluste erheblich. Mit der vorher beschriebenen Technik kann auch von geometrisch kompliziert geformten Werkstücken ca. 90 % des anhaftenden KSS-Öls zurückgewonnen werden.

Die Saug-Blassysteme sind werkstückspezifisch auszulegen und daher meist erst bei größeren Stückzahlen oder Produkten mit langen Produktlaufzeiten wirtschaftlich. Zu beachten sind jeweils die rückgewonnenen KSS-Anteile sowie die geringere Belastung einer nachgeschalteten Reinigung/Entfettung.

2.5 Aufbereitung und Entsorgung verbrauchter Kühlschmierstoffe

Während des Einsatzes unterliegt jeder Kühlschmierstoff einer ständigen Alterung, d. h. seine Eigenschaften verändern sich und der Gebrauchswert wird vermindert. Neben der Beanspruchung durch den Bearbeitungsvorgang (vorwiegend thermisch und mechanisch) wirken sich insbesondere eingeschleppte Fremdstoffe, wie Fremdöle, Feststoffe und aus der Luft aufgenommene Schadstoffe negativ auf die Gebrauchseigenschaften der Kühlschmierstoffe aus. Verbraucht ist eine Substanz erst, wenn sie ihre eigentliche Aufgabe nicht mehr ausreichend erfüllt. Bei Kühlschmierstoffen kommen jedoch auch noch andere Kriterien, wie z. B. die Arbeitsplatzhygiene, zum Tragen. Ein KSS-Austausch wird somit erforderlich,

- wenn das erforderliche Bearbeitungsergebnis nicht mehr erzielt wird (Oberflächengüte, Genauigkeit, Werkzeugstandzeit),
- wenn Inhaltsstoffe (Konzentration, Additive) abgenommen haben und ein „Nachschärfen" nicht mehr möglich ist,
- bei mikrobieller Zersetzung und
- wenn die Schadstoffbelastung im Kühlschmierstoff zu hoch wird (Nitrit, Metall-Ionen, Keime, Fremdöl usw.).

Von den Herstellern wird häufig ein turnusmäßiger Austausch empfohlen, der aber immer Sicherheitsreserven beinhaltet. Bei sorgfältiger Überwachung und entsprechender Pflege (vergl. Kap. 2.4 sowie Kap. 4) können variable Austauschzeiten die zu entsorgenden KSS-Mengen erheblich mindern.

Hohe Ausschleppungsverluste und der damit verbundene geringe Turnover (Verweilzeit einer Badfüllung) führen insbesondere bei KSS-Öl zu ausreichender Frischölergänzung, so daß ein Verwurf im allgemeinen entfällt. Unter günstigen Randbedingungen und in Verbindung mit entsprechenden Pflegemaßnahmen können hohe Standzeiten auch bei Emulsionen erreicht werden.

Ist ein Kühlschmierstoff verbraucht und muß verworfen werden, so ist bezüglich der Aufarbeitung und Entsorgung zwischen zwei Gruppen zu unterscheiden:

- Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe: KSS-Öle
- Wassermischbare Kühlschmierstoffe: – KSS-Emulsionen
  – KSS-Lösungen

2.5.1 Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe

Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe weisen eine gute Stabilität und Resistenz gegen Fremdeinflüsse auf. Die gegenüber den wassermischbaren Kühlschmierstoffen wesentlich höhere Viskosität bedingt höhere Austragsverluste (Späne, Werkstücke), die mit Rückführmaßnahmen verringert werden muß. Dennoch sind entsprechende Ergänzungsmengen notwendig. Ein Verwurf wegen Unbrauchbarkeit ist in den seltensten Fällen erforderlich.

Die in verbrauchten oder zu entsorgenden KSS-Ölen enthaltenen Wasser- und Feststoffanteile können mittels eines 3-Phasen-Separators abgetrennt werden. Eine betriebseigene Anlage wird jedoch nur in Großbetrieben wirtschaftlich sein. Das gebrauchte KSS-Öl kann dann je nach Verunreinigungsgrad einer Verwertung (KSS-Hersteller, Raffinerie) zugeführt werden. Noch im Einsatz befindliche chlorhaltige Öle sollten unbedingt getrennt gesammelt werden, da deren Entsorgung (Verbrennung) oder Verwertung (Hydrierung) problematischer, und damit teurer, ist.

2.5.2 Kühlschmierstoff-Emulsionen; Emulsionsspaltverfahren

Eine Frischemulsion besteht in der Regel aus ca. 95 % Wasser sowie dem einemulgierten Konzentrat, einem entsprechend additivierten Ölgemisch. Während der Nutzung werden einerseits Fremdstoffe eingeschleppt (Fremdöle, wie Hydrauliköl, Korrosionsschutz-Öle und -Fette von Werkstücken und feste Verunreinigungen aus der Bearbeitung), andererseits entsteht eine Vielzahl von Substanzen durch die mechanische und thermische Beanspruchung, durch mikrobiellen Angriff und chemische Begleitreaktionen. Bei der Aufarbeitung einer Altemulsion richtet sich das Hauptaugenmerk auf die möglichst vollständige Auftrennung in eine Wasser- und in eine Ölphase, die sogenannte Emulsionsspaltung. Hierzu stehen eine ganze Reihe von Verfahren zur Verfügung, auf die im folgenden näher eingegangen wird. Wegen der bereits erwähnten Fremd- und Zersetzungsstoffe ist es in den meisten Fällen sinnvoll, der eigentlichen Emulsionsspaltung Verfahrensschritte vor- oder nachzuschalten. So kann die Anlage geschont und eine bessere Qualität der Aufarbeitungsprodukte erzielt werden.

Ein beispielhaftes Verfahrenskonzept besteht aus folgenden Teilschritten:

- Abtrennung der nicht einemulgierten Fremdöle durch Abskimmen, eventuell mit Unterstützung, z. B. durch Flotation,
- Abtrennung der Feststoffe durch Filtrierung und/oder Absetzen im Absetzbecken,
- Emulsionsspaltung,
- ggf. Nachbehandlung des abgespaltenen Wassers, d. h. Entfernung von gelösten Schwermetallen und organischen Substanzen (CSB-Wert), Neutralisation,
- ggf. Nachbehandlung der abgespaltenen Ölphase (Reduzierung des Wassergehalts).

Für das Emulsionsspaltverfahren (Abb. 2-7) sowie für die darauf abzustimmenden Vor- und Nachbehandlungsverfahren kann keine allgemeingültige Empfehlung gegeben werden. Zu unterschiedlich sind die aufzuarbeitenden Medien und die jeweiligen innerbetrieblichen Randbedingungen.

Emulsionsspaltverfahren

Chemische Verfahren

Anorganische Spaltung:	Säure-/Salzspaltung Hydroxidfällung
Organische Spaltung:	kationische Polymere

Physikalische Verfahren

Membranverfahren:	Ultrafiltration Umkehrosmose
Verdampfungsverfahren:	Dünnschichtverdampfung Vakuumverdampfung
Adsorption	

Kombinierte Verfahren

Thermisch:	– mit anschließender Zentrifugation – mit CO_2-Zugabe
Adsorption an verschiedene Flockungsmittel	
Flotationsverfahren:	– Entspanungsflotation – Elektroflotation
Elektrochemische Verfahren:	– Elektrophorese – Elektrokoagulation

Abb. 2-7: Übersicht der gängigen Emulsionsspaltverfahren

Chemische Verfahren

Organische Spaltverfahren

Der Wirkungsmechanismus der organischen Emulsionsspalter auf der Basis kationischer Polymere beruht auf der Ladungsneutralisation der in der Emulsion enthaltenen anionischen Tenside durch den kationischen Ladungscharakter. Nach Koagulation und Bindung der Öltröpfchen an die Oberfläche des Emulsionsspalters wird die Emulsion gebrochen und es bildet sich ein ölhaltiges Flotat, welches gut abgeschöpft oder abgeskimmt werden kann.

In Zusammenarbeit mit dem Hersteller muß der Emulsionsspalter auf Art und Zusammensetzung der Emulsion abgestimmt werden. Die Zuführung muß mengenproportional zur Konzentration, d. h. dem Ölgehalt, erfolgen. Eine erhebliche Überdosierung kann eine Reemulgierung

zur Folge haben. Diese dann kationisch stabile Emulsion ist nur sehr schlecht und mit erheblichem Aufwand wieder zu trennen.

Den Wirkungsmechanismus bei a) richtiger Dosierung und b) Überdosierung zeigt Abb. 2-8 /5/.

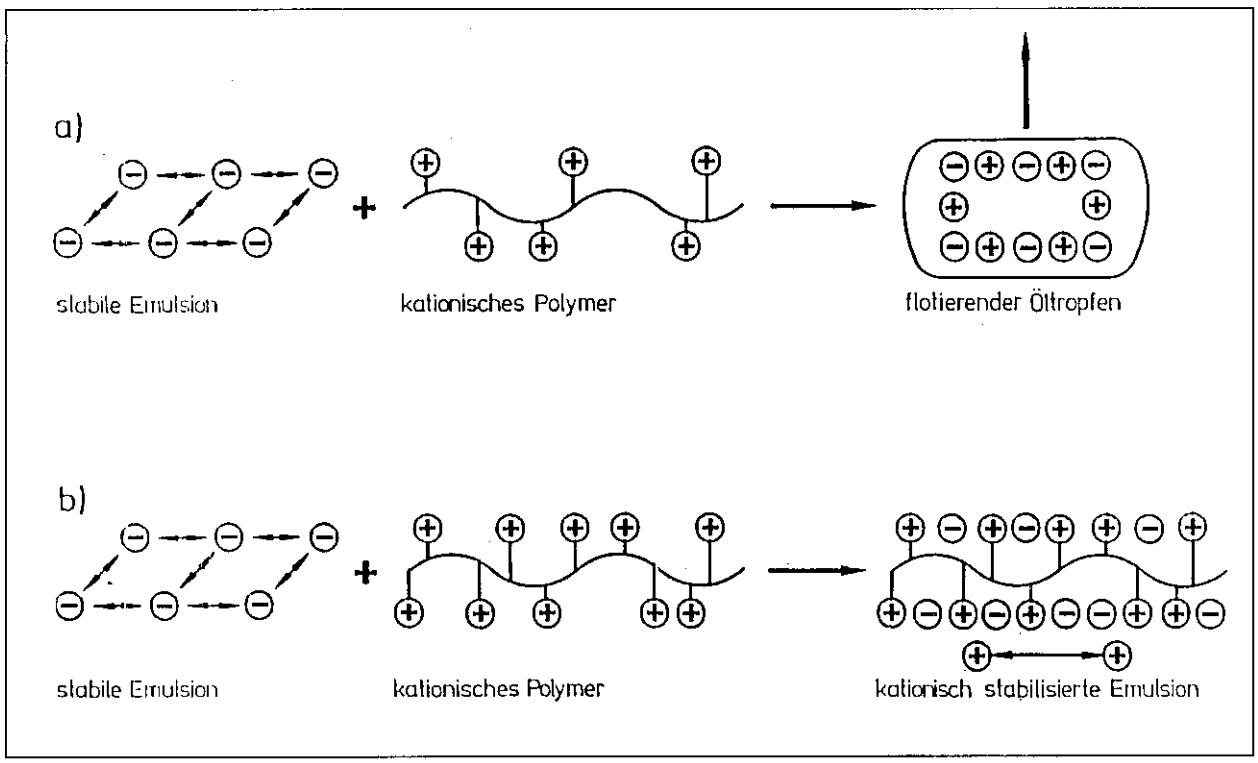


Abb. 2-8: Wirkungsmechanismus von organischen Spaltern

Nach ausreichender Verweilzeit erhält man eine klare Wasserphase, die jedoch meist nachbehandelt werden muß (CSB, Metall-Ionen, ggf. Kohlenwasserstoffgehalt).

Das Verfahren ist sowohl im Chargenbetrieb als auch im kontinuierlichen Betrieb einsetzbar. Die abgetrennte Ölphase, die auch den organischen Spalter enthält, beinhaltet je nach vorgesehener Absetzzeit (5 bis 60 Minuten) ca. 50 bis 10 % Wasser und ist in vielen Fällen verwertbar. Im Gegensatz zu anderen chemischen Spaltverfahren entsteht kein zusätzlicher Schlamm. Pro m^3 5%iger Altemulsion werden ca. 3 l Emulsionsspalter benötigt. Die genaue Dosiermenge muß im Vorversuch ermittelt werden. Automatische Meß- und Dosierverfahren befinden sich derzeit noch im Erprobungsstadium.

Vorteile	**Nachteile**
– Keine zusätzliche Schlammproduktion	– Voruntersuchung der Altemulsion erforderlich
– Keine Aufsalzung	– Gefahr der Überdosierung
– Gute Trennergebnisse	– Geschultes Personal erforderlich
– Ölphase meist verwertbar	– Lagerzeit des Spalters begrenzt (ca. 6 bis 12 Monate)
– Einfache Anlagentechnik	– Spaltwasser muß meist nachbehandelt werden

Anorganische Emulsionsspaltung

Das kombinierte Verfahren der Säure-/Salzspaltung mit anschließender Hydroxidfällung ist ein weit verbreitetes Verfahren und wird wegen der ausgereiften Anlagentechnik und der geringen Chemikalienkosten insbesondere zur Behandlung größerer Mengen oft eingesetzt. Im Hinblick auf die entstehenden ölhaltigen Hydroxidschlämme muß es aus heutiger Sicht kritisch betrachtet werden.

Verfahrensprinzip: Durch Zugabe von Säure (Schwefel- oder Salzsäure) wird die Emulsion destabilisiert. Leicht abspaltbare Ölanteile schwimmen auf und können abgezogen werden. Die Zugabe von Metallsalzen (Eisenchlorid, Kalziumchlorid, Magnesiumsulfat) bewirkt die vollständige Brechung (d. h. Zerstörung des Emulgators) der Emulsion. Die entstehenden Hydroxide werden durch Zugabe z. B. von Kalkmilch gefällt und können abgefiltert werden. Es existiert somit keine verwertbare Ölphase. Die entstehenden Schlammengen können ein 2- bis 3-faches der ursprünglichen Abfallmenge ausmachen. Zusätzlich negativ wirkt sich die Aufsalzung der Wasserphase aus. Die Anwendung der anorganischen Emulsionsspaltung kann daher nur noch in Ausnahmefällen empfohlen werden.

Vorteile	Nachteile
– Ausgereifte Technik	– Große Schlammproduktion
– Einfache Handhabung	– Teure Schlammentsorgung (nicht deponiefähig)
– Preiswerte Chemikalien	– Aufsalzung des Spaltwassers
	– Keine verwertbare Ölphase

Physikalische Verfahren

Membranverfahren

Die verschiedenen Membranverfahren wie Mikrofiltration, Ultrafiltration, Nanofiltration und Umkehrosmose beruhen auf dem gleichen Funktionsprinzip und unterscheiden sich im wesentlichen in der Porengröße der verwendeten Membran (0,1 µm bis 0,001 µm). Im Gegensatz zu den konventionellen Filtrierverfahren, bei denen der Flüssigkeitsstrom senkrecht auf die Filterfläche gerichtet ist, strömt bei den Membranverfahren das Medium parallel zur Membran. Ein Verstopfen der feinen Poren wird dadurch weitestgehend vermieden. Das Filtrat (Permeat) durchströmt die Membran, während das Retentat in Kreislauf gefahren wird und sich dabei kontinuierlich aufkonzentriert.

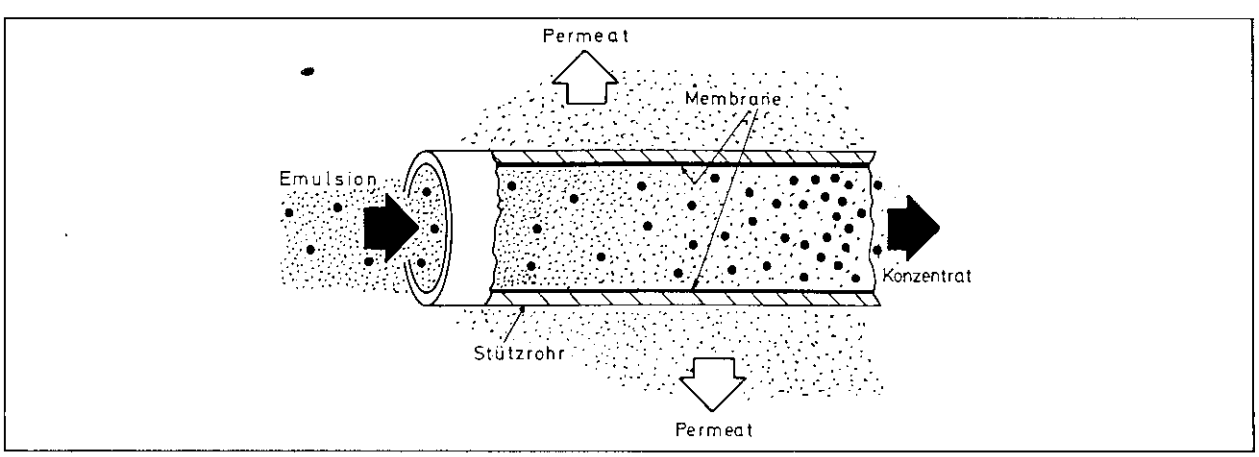


Abb. 2-9: Trennprinzip einer Rohrmembran

Das flüssige Stoffgemisch wird also in zwei Gruppen aufgetrennt, deren Zusammensetzung von den Inhaltsstoffen sowie von der eingesetzten Membran (Siebeffekt und Polarität) abhängig ist.

Ultrafiltration

Die Ultrafiltration ist zumindest in größeren Betrieben inzwischen zu einem der gängigsten Verfahren zur Emulsionsspaltung geworden.

Nach Abtrennung von festen Verunreinigungen sowie nicht einemulgierter Fremdöle und -fette läßt man das zu spaltende Medium unter Druck (0,5 bis max. 3,5 bar) und eventuell bei erhöhter Temperatur (bis 80 °C) an der Membran entlangströmen. Wasser, gelöste sowie niedermolekulare Stoffe passieren selektiv die Membran, während Feststoffe und Öle sich im Retentat aufkonzentrieren. Mit steigender Konzentration verringert sich die Leistung (Flux), so daß üblicherweise nur bis zu Restwassergehalten von 70 bis 30 % aufkonzentriert wird. Nach jedem Arbeitszyklus wird die Membran zur Erhaltung hoher Fluxraten mit einer Reinigungsflüssigkeit im Gegenstrom gespült. Eventuell gebildete Deckschichten werden so wieder entfernt.

Das Herzstück einer UF-Anlage zeigt die Abbildung 2-10.

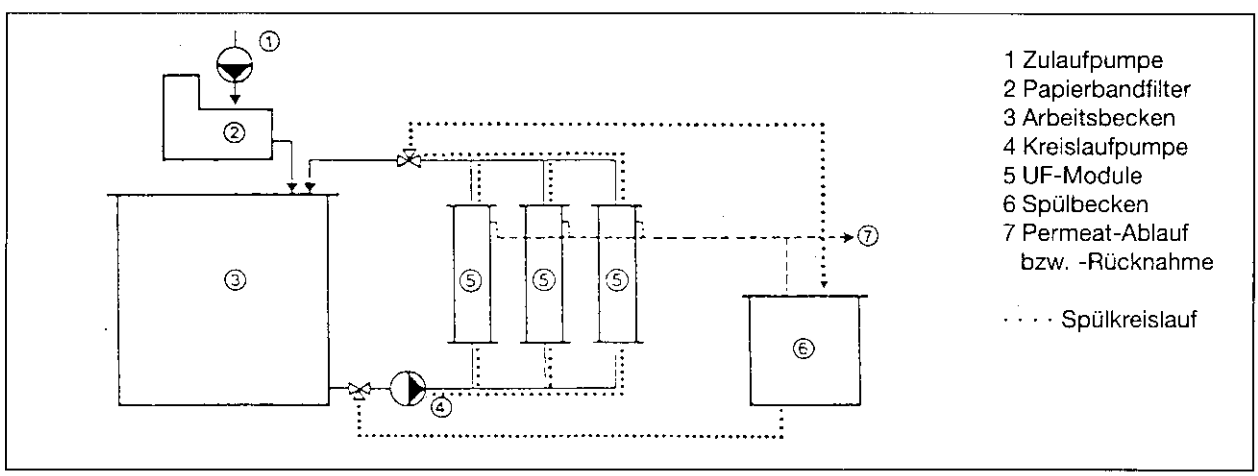


Abb. 2-10: Schematische Darstellung einer UF-Anlage /6/

Die Membranen müssen an die zu spaltende Emulsion angepaßt werden.
Randbedingungen wie:

- chemische Beständigkeit (pH, Lösemittel),
- Resistenz gegen Bakterien,
- hohe Porenfeinheit bei gleichzeitig gutem Flux,
- Temperatur- und mechanische Beständigkeit,
- hohe Lebensdauer und Servicefreundlichkeit

sollten bei der Membranauswahl beachtet werden. Neben organischen Werkstoffen (PVDF, Polyamide, Zelluloseacetate, Polysulfon) kommen heute verstärkt keramische Materialien (ZrO_2 auf Al_2O_3 oder Carbon als Träger) zur Anwendung. Deren Empfindlichkeit gegen mechanische Belastungen (Druckstöße, Vibration) kann durch geeignete Stützkonstruktionen weitgehend kompensiert werden. Membranen aus organischen Materialien weisen oft Schwächen in der Verschleißfestigkeit (Lebensdauer) und der chemischen Beständigkeit auf. Als weitere Störfaktoren sind Stoffe zu beachten, die unter ungünstigen Umständen zum Verstopfen (Verblocken) der Membran führen können, z. B. Graphit, Wachse, Silikate aus Reinigern sowie all-

gemein Partikel im Submikronbereich. Ebenso darf freies, d. h. nicht einemulgiertes Öl nicht in die Membran gelangen. Die anwendungsspezifische Auswahl einer geeigneten Membran muß daher in Zusammenarbeit mit dem Hersteller/Anlagenbauer und der Durchführung entsprechender Spaltversuche erfolgen.

Da bei der Ultrafiltration in Wasser gelöste Stoffe die Membran passieren, weist das Permeat meist einen relativ hohen CSB-Wert (1 000 bis 40 000 mg O_2/l) auf. Ebenso können Salze und gelöste Schwermetalle nicht zurückgehalten werden. Eine Nachbehandlung des Wassers ist auch bei innerbetrieblicher Wiederverwertung meist erforderlich. Das Retentat ist Sonderabfall, kann aber in vielen Fällen einer Verwertung (Raffination, Brennstoff) zugeführt werden. Zur weiteren Reduzierung des Wassergehalts im Retentat werden Vakuumverdampfung oder Dünnschichtverdampfer eingesetzt.

Vorteile	**Nachteile**
– Keine Abfallvermehrung durch zusätzliche Chemikalien	– Verfahren universell einsetzbar, jedoch Vorversuche erforderlich
– Beide Stoffgruppen, Retentat und Permeat, prinzipiell verwertbar	– Standzeit der Membran begrenzt
– Moderate Betriebskosten	– Relativ hohe Investitionskosten
	– Spaltwasser muß meist nachbehandelt werden

Umkehrosmose

Das Verfahrensprinzip der Umkehrosmose (UO) entspricht dem der Ultrafiltration (UF). Die eingesetzten Membranen weisen jedoch um eine Größenordnung feinere Poren auf (ca. 0,001 µm). Die semipermeable Membran hält daher auch gelöste Stoffe (Salze, Metall-Ionen, synthetische Kühlschmierstoffe) zurück, so daß neben dem beschriebenen Siebeffekt und der Polarität noch der osmotische Druck zu überwinden ist. UO-Anlagen werden daher mit wesentlich höheren Systemdrücken (30 bis 70 bar) gefahren, was zu höheren Anlagenkosten führt. Als Membranwerkstoffe werden derzeit nur organische Materialien eingesetzt (Zelluloseacetat, Polyamidderivat).

Das Permeat hat nahezu VE-Wasserqualität und weist somit ein hohes Wiederverwertungspotential auf. Wegen der relativ hohen Investitionskosten, der Störempfindlichkeit der Membran und der geringeren Flux-Leistung wird das Verfahren derzeit kaum zur Emulsionsspaltung, höchstens nachgeschaltet zur Abtrennung gelöster Stoffe, industriell eingesetzt. Hierbei verschlechtern hohe Salzgehalte den Wirkungsgrad zusätzlich.

Vorteile	**Nachteile**
– Keine Abfallvermehrung durch zusätzliche Chemikalien	– Teures Verfahren (Investitions- und Betriebskosten
– Permeat sehr gut verwertbar	– Empfindliche Membranen

Verdampfungsverfahren

Zur thermischen Spaltung werden verschiedene Technologien eingesetzt, die von Dünnschichtverdampfern bis zur Vakuumverdampfung mit Brüdenverdichtung reicht. Einfache Verfahren weisen einen recht hohen spezifischen Energieverbrauch auf und sind daher vorwiegend zur weiteren Auftrennung, z. B. des Retentats aus einer UF-Anlage, geeignet. Durch Einsatz des Mehrstufenprinzips, der Temperaturabsenkung (60 bis 80 °C), durch Anlegen von Vakuum und der Brüdenverdichtung läßt sich der Energiebedarf auf 25 bis 30 % gegenüber der einfachen Verdampfung absenken.

In der Ölphase verbleiben alle organischen Zusätze sowie die Salze. Nur die leichtflüchtigen (wasserdampfflüchtigen) Bestandteile gehen in das Brüdenkondensat (Wasser) über. Da diese Stoffgruppe bei den Kühlschmierstoffen unüblich ist, erhält man ein CSB-armes Kondensat. Vor dessen Wiederverwendung, z. B. zum Auffrischen einer bestehenden Emulsion, ist zu beachten, daß Anteile von Tensiden bei der Destillation verschleppt werden. Gute Erfahrungen bestehen beim Unterdruckverdampfen mit Wasserstrahlpumpen zur Unterdruckerzeugung. In der Praxis erfolgt die Wasserverdampfung bei ca. 35 °C.

Verdampfungsverfahren sind unabhängig von Inhaltsstoffen und Konzentrationen der Emulsion und damit universell auch für Emulsionsgemische und KSS-Lösungen einsetzbar.

Vorteile	**Nachteile**
– Kein Chemikalieneinsatz	– Hohe Investitionskosten
– Öl- und Wasserphase meist wiederverwertbar	– Energieintensives Verfahren
– Verfahren universell einsetzbar	– Niedrigsiedende Kohlenwasserstoffe im Kondensat

Sonstige Verfahren

Zur Emulsionsspaltung stehen noch weitere Verfahren und Verfahrenskombinationen zur Verfügung, die aber zur Spaltung der meist sehr stabilen KSS-Emulsionen selten zur Anwendung kommen:

- Elektrochemische Verfahren wie Elektroflotation und Elektroflockulation. Die Emulsion wird hierbei über inerte Anoden oder Opferanoden elektrolysiert.

- Emulsionsspaltung mittels CO_2. Bei erhöhtem Druck, Temperatur und mechanischer Unterstützung wird CO_2 zugeführt und die Emulsion mit der entstehenden Kohlensäure gespalten. Das Verfahren befindet sich derzeit noch in der Erprobung.

- Flotation: Durch Zusatz von Metall-Ionen (Fe- oder Al-Salze) werden die Emulsionströpfchen koaguliert. An die dann grobdispersen Teilchen können sich feine Gasbläschen anlagern, die ein Aufschwimmen zur Flüssigkeitsoberfläche bewirken. Je nach Erzeugungsart der Gasbläschen unterscheidet man zwischen Elektroflotation und Entspannungsflotation. Dieses Verfahren erhöht die Abfallmengen und sollte vermieden werden.

- Koagulation: Durch Anlegen eines elektrischen Feldes wird die Emulsion gebrochen.

- Adsorption: Anlagerung an adsorbierende Stoffe wie z. B. Aktivkohle, Kieselsäure und sogenannte Reaktionstrennmittel. Nur bei sehr geringen Ölgehalten einsetzbar.

2.5.3 Kühlschmierstoff-Lösungen

Synthetische oder teilsynthetische KSS werden in den letzten Jahren verstärkt, insbesondere beim Schleifen, eingesetzt. Mit einem Ölgehalt von 2 bis 3 % liegt die Konzentration deutlich unter der der KSS-Emulsionen. Fremdstoffe, wie eingeschleppte Öle oder Feststoffe, können mit den bereits erwähnten Verfahren (Filter, Dekanter, Ölskimmer) entfernt werden.

Die gelösten Öle (synthetische Ester, Polyglykole) lassen sich dagegen kaum durch gängige Spaltverfahren abtrennen. Von den beschriebenen Systemen eignen sich nur die Eindampfungsverfahren sowie die Umkehrosmose zur Auftrennung in Wasser- und Ölphase. Werden gebrauchte KSS-Lösungen mit Emulsionen vermischt und über andere Spaltverfahren aufgearbeitet, so verbleibt der gelöste Ölanteil in der Wasserphase. Dies führt zu hohen Restölgehalten bzw. CSB-Werten. Eine Einleitfähigkeit ist damit nicht mehr gegeben. Eine Vermischung ist daher zu vermeiden.

3 Abfallartenentstehung, -aufkommen, Entsorgungswege

In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Abfallarten, die beim KSS-Einsatz in der Metall-Bearbeitung anfallen, nach Entstehung, Aufkommen und vorgeschriebenem Entsorgungsweg charakterisiert.

3.1 Rechtsgrundlagen

In der Vergangenheit blieb es weitgehend der betrieblichen Planung überlassen, den Aspekt der Vermeidung von Abfällen bei der Prozeßplanung zu betrachten. Im Jahre 1985 wurde in § 5 Abs. 1 Nr. 3 des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG) für immissionsschutzrechtlich genehmigungspflichtige Anlagen dem schon seit 1974 geltenden Reststoffverwertungsgebot das Reststoffvermeidungsgebot zur Seite gestellt. Die sich hieraus ergebenden Pflichten werden in der Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums Baden-Württemberg vom 4. 11. 1989 zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Reststoffen nach § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG konkretisiert.

In das Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (Abfallgesetz / AbfG) vom 27. 8. 1986 wurden weitere Regelungen zur Durchsetzung des Vermeidungs- und Verwertungsgedankens aufgenommen. § 14 AbfG gibt der Bundesregierung ein ganzes Bündel von Verordnungsermächtigungen in die Hand, um Vermeidungs- und Verwertungsvorschriften zu erlassen. Ein aktuelles Beispiel hierfür ist die Verpackungsverordnung. Im übrigen wird in § 3 Abs. 2 Satz 1 AbfG der Vorrang der Verwertung vor der sonstigen Entsorgung festgelegt.

Die Anforderungen an die Entsorgung von Abfällen sind in Grundzügen in § 2 Abs. 1 AbfG niedergelgt. Die technischen und organisatorischen Anforderungen, die im Einzelfall an die Verwertung und Entsorgung von Abfällen zu stellen sind, werden durch die Technische Anleitung Abfall (TA Abfall) konkretisiert. Bislang liegen Vorschriften zur Lagerung, chemisch / physikalischen und biologischen Behandlung und Verbrennung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen vor. Die TA Abfall enthält einen Katalog, in dem Arten der besonders überwachungsbedürftigen Abfälle mit Hilfe von fünfstelligen Abfallschlüsseln klassifiziert und Hinweise auf bestimmte Entsorgungswege gegeben werden.

Für besonders überwachungsbedürftige Abfälle nach der Abfallbestimmungsverordnung (AbfBestV) wird in Baden-Württemberg seit April 1991 eine Sonderabfallabgabe nach dem Landesabfallabgabengesetz (LAbfAG) erhoben. Abgabepflichtige Erzeuger sind alle Betreiber gewerblicher und sonstiger wirtschaftlicher Unternehmen sowie öffentliche Einrichtungen. Veranlagungszeitraum für die Abfallabgabe ist das Kalenderjahr.

Gemäß § 6 Abs. 2 LAbfAG muß der abgabenpflichtige Abfallerzeuger in einer formellen Erklärung die zur Festsetzung der Abgabe erforderlichen Angaben über die Menge der zu entsorgenden Abfälle machen. Kommt der Abgabenpflichtige seiner Erklärungspflicht nicht oder ungenügend nach, so kann die Abgabenhöhe von der Abfallrechtsbehörde geschätzt werden.

Die Abfallarten sind entsprechend ihrer Umweltrelevanz in drei Kategorien eingeteilt, für die gestaffelte Abgabesätze gelten (s. Abb. 3-1).

	seit 1991	ab 1993
Kategorie 1	50	100 DM/t
Kategorie 2	100	200 DM/t
Kategorie 3	150	300 DM/t

Abb. 3-1: Abfallabgaben nach Landesabfallabgabengesetz von Baden-Württemberg /17/

Zu entsorgende Kühlschmierstoff- und Waschemulsionen (Abfallschlüssel 54402) sind ebenso wie Schlämme aus Öltrennanlagen (Abfallschlüssel 54703) der Abfallkategorie 2 zugeordnet. Gebrauchte Filtervliese (Abfallschlüssel 18710 und 18711) gehören zur Kategorie 1, Bohr-, Schneid- und Schleiföle (Abfallschlüssel 54109) zur Abfallkategorie 2 des LAbfAG.

Abschließend sei an dieser Stelle darauf verwiesen, daß bei der Behandlung und Entsorgung auch die wasserrechtlichen Vorschriften zu beachten sind (insbesondere Anhang 40 zur Rahmenabwasserverwaltungsvorschrift nach § 7a WHG).

3.2 Entstehung der Reststoffe/Abfälle und Aufkommen in Baden-Württemberg

In Abb. 3-2 ist schematisch der Stoffluß der Fertigungsschritte „Zerspanen" und „Waschen" dargestellt. Beide Fertigungsschritte sind als Einheit zu betrachten, da die beim Zerspanen eingesetzten Hilfsstoffe in das Waschmedium verschleppt werden.

Zum Vollzug der Abfall- und Reststoffüberwachungsverordnung werden die für besonders überwachungsbedürftige Abfälle/Reststoffe erforderlichen Begleitscheine bei der Landesanstalt für Umweltschutz erfaßt und ausgewertet.

Die nachfolgend aufgeführte Tabelle (Abb. 3-3) zeigt eine Aufschlüsselung der im Zusammenhang mit Zerspan- und Waschprozessen relevanten Reststoffarten und deren Aufkommen gemäß der Auswertung der Abfallbegleitscheine für das Jahr 1990.

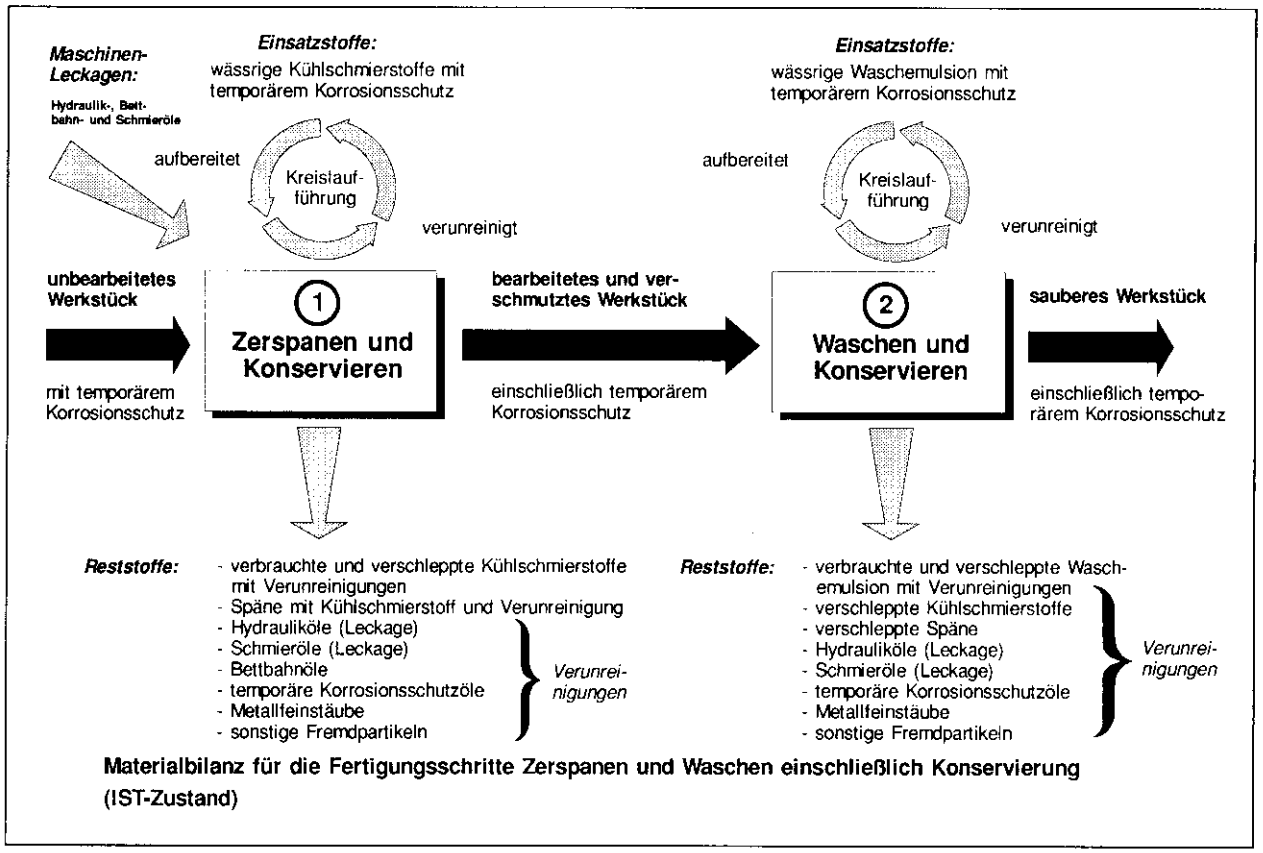


Abb. 3-2: Stoffluß für die Fertigungsschritte „Zerspanen" und „Waschen"

Abfallschlüssel gem. LAGA	Abfallart	Abfallaufkommen* 1990 (in t)
18710, 18711	Papierfilter mit schädlichen Verunreinigungen	370
54402	Bohr- und Schleifölemulsionen	54 608
54401	Synthetische Kühlschmierstoffe	892
54109	Bohr-, Schneid- und Schleiföle	816
54404	Honöle	11
54707	Erodierschlamm	69
54708	Hon- und Läppschlämme	266
54710	Schleifschlamm ölhaltig	5 515
54703	Schlamm aus Öltrennanlagen	9 721

*) Begleitscheinauswertung durch LfU.

Abb. 3-3: Abfallaufkommen (in t) an Kühlschmierstoffen und mineralölhaltigen Schlämmen in Baden-Württemberg

3.3 Gebrauchte Kühlschmierstoffe

Gebrauchte Kühlschmierstoffe, die behandelt oder entsorgt werden müssen, enthalten in der Regel Schadstoffe, die bereits im Originalprodukt enthalten sind oder durch prozeßbedingte Verunreinigungen hinzukommen. Solche Verunreinigungen können z. B. Leckageöle aus dem Hydraulik- und Schmiersystem der Werkzeugmaschine sein oder eingeschleppte Fremdöle und Metallstäube von vorangegangenen Fertigungsschritten.

Gebrauchte Kühlschmierstoffe (Abfallschlüssel 54401, 54402, 54404, 54109) stellen Reststoffe dar, die als besonders überwachungsbedürftig eingestuft werden. Die Art der Entsorgung von gebrauchten Kühlschmierstoffen und damit die Kostenbelastung hängt vom Schadstoffanteil ab. Als kritische Schadstoffe sind in diesem Zusammenhang Chlorverbindungen und Nitrit zu nennen. Kühlschmierstoffe sollten daher frei von diesen Schadstoffen sein. Nitrit verliert als Korrosionsinhibitor zunehmend an Bedeutung.

Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe werden in der Regel im Kreislauf geführt und nicht verworfen, sondern nur ergänzt, um Badverschleppungen auszugleichen.

Emulsionsbäder für Zerspan- und Waschprozesse weisen dagegen nur eine begrenzte Standzeit auf. Die Entsorgung erfolgt entweder direkt ohne vorherige Behandlung der Altemulsion durch Entsorgungsunternehmen oder nach vorheriger Emulsionsspaltung. Die Ölphase aus der Emulsionsspaltung kann ggf. als Altöl einer stofflichen oder thermischen Verwertung zugeführt werden. Bei zu hohen Schadstoffgehalten muß die Entsorgung über die Sonderabfallverbrennung erfolgen.

3.4 Späne

Durch Zerspanprozesse fallen große Mengen von Spänen an (Abfallschlüssel 35103), die meist noch mit Kühlschmierstoff behaftet sind. Derzeit werden diese Späne, z. T. unsortiert in Behältern gesammelt und an die Stahlwerke zurückgegeben, ohne daß die anhaftenden Kühlschmierstoffe getrennt und dem Kreislauf wieder zugeführt werden. Ein zu hoher Ölgehalt der Späne kann jedoch einer Verwertung entgegenstehen.

Neuere Kreislaufsysteme für Kühlschmierstoffe und Späne beseitigen die bisherigen Transportprobleme in den Werken. Dabei wird das Kühlschmiermittel selbst zum Transportmittel, mit dem anfallende Späne sowie andere Produktionsrückstände in einem geschlossenen Kreislauf von der Maschine zurück zur Wiederaufbereitung in eine zentrale Kühlschmierstoff-Versorgung eingeleitet werden. Die Erfassung der Späne kann auf diese Weise ebenfalls zentral erfolgen und führt zu wirtschaftlichen sowie sicherheitstechnischen Verbesserungen.

3.5 Abgetrennte Fremdöle

Während der Fertigungsprozesse kommt es durch Undichtigkeiten an den bewegten Teilen der Werkzeugmaschinen zu Leckagen aus den Hydraulik- und Schmierstoffsystemen. Desweiteren werden durch das Überfluten der Gleitbahnen mit Kühlschmierstoff Bettbahnöle in die Kühlschmierstoffbäder eingetragen. Ein weiterer Fremdöleintrag erfolgt durch an den Werkstücken haftendes Korrosionsschutzöl. Die in die Emulsionsbäder eingetragenen Öle werden z. T. einemulgiert oder schwimmen als Fremdöle auf. Die durch Skimmer oder Separatoren abgetrennten Fremdöle sowie verworfene Hydrauliköle werden unter der Abfallschlüsselnummer 54113 bzw. 54114 entsorgt und als Altöl verwertet oder ggf. der Sonderabfallverbrennung zugeführt.

Hydrauliköle sollten wegen der damit verbundenen Abwasserproblematik kein Zinkdithiophosphat enthalten.

3.6 Schleifschlämme

Ölhaltige Schleifschlämme (Abfallschlüssel 54710) als Gemisch aus Metallfeinstäuben, Ölanteilen sowie Schleifscheibenabrieb entstehen durch Schleifprozesse und werden durch Filtersysteme aus dem KSS ausgetragen.. Sofern die Schleifschlämme bestimmte Ölgehalte unterschreiten, können sie metallurgisch verwertet oder auf Sonderabfalldeponien (SAD) abgelagert werden. Andernfalls sind sie in geeigneten Verbrennungsanlagen zu entsorgen.

3.7 Filtervliese

Bei den in Kap. 2.4.3.1 beschriebenen Filtersystemen mit Filterhilfsmitteln fallen Vliese an. Die gebrauchten Vliese (Abfallschlüssel 18710 und 18711) müssen aufgrund der aufgefangenen Badrückstände (Grob- und Feinschmutz) als Sonderabfall entsorgt werden.

3.8 Gebrauchte Waschemulsionen

Gebrauchte Waschemulsionen (Abfallschlüssel 54402) werden häufig zusammen mit den wassermischbaren Kühlschmierstoffen entsorgt. Die in Kap. 3.3 getroffenen Aussagen treffen daher auch für die Waschemulsionen zu.

4 Vermeidung und Verwertung von Abfällen – Stand der Vermeidungs- und Verwertungstechnik

In den seltensten Fällen müssen Kühlschmierstoffe verworfen und entsorgt werden, weil sie durch Verschleiß im Bearbeitungsprozeß unbrauchbar geworden sind. Vielmehr führen zusätzliche Belastungen, wie Verunreinigungen, Verkeimung, unzureichende Pflege, zum vorzeitigen Ausfall. Durch geeignete Kühlschmierstoffpflegemaßnahmen ist oft noch ein erhebliches Potential zur Vermeidung und Verminderung zu erreichen. Die getrennte Sammlung verschiedenartiger Alt-KSS ermöglicht zusätzliche Wege zu deren Verwertung.

4.1 Maßnahmen zur Verminderung und Vermeidung

Unabhängig davon, welcher KSS-Typ (Öl, Emulsion oder Lösung) eingesetzt wird, liegt das Potential im wesentlichen beim ordnungsgemäßen und pfleglichen KSS-Einsatz sowie in der eingesetzten Anlagentechnik. Weiterhin bilden Information und Schulung des betrauten Personals über Wirkung, Pflege und Umgang mit Kühlschmierstoffen die beste Erfolgsgrundlage. Die wichtigsten Maßnahmen sind:
- Verlängerung der Badstandzeit,
- Verminderung der Spritz- und Austragsverluste,
- Einsatz abfallarmer Produktionsverfahren.

Die Abbildung 4-1 zeigt beispielhaft das Schema einer Zerspananlage, deren Stoffflüsse und die Bearbeitungsstufen.

4.1.1 Verlängerung der Badstandzeit

Maßnahmen zur Verlängerung der Badstandzeit beinhalten bei den wassergemischten Kühlschmierstoffen mit Abstand das größte Abfallverminderungspotential. Daneben wirken sich längere Badstandzeiten kostenmindernd aus, da die einzukaufenden Mengen verringert werden. Wie bereits erwähnt, liegen die Standzeiten bei wassergemischten Kühlschmierstoffen in einer sehr großen Bandbreite: Von teilweise noch unter 4 Wochen bei Einzelanlagen ohne jegliche Badpflegeeinrichtungen bis hin zu 2–3 Jahren bei Zentralanlagen mit optimalen Pflegeeinrichtungen und kontinuierlicher Badüberwachung. Bei Bearbeitungsölen ist die Standzeit kein Problem.
Die Standzeit wird von einer ganzen Reihe von Randbedingungen beeinflußt:
- Eintrag und Entfernung von Verunreinigung
- Verwendete Wasserqualität
- Austrag von Badbestandteilen (Öl, Additive)
- Alterung durch thermische und mechanische Beanspruchung
- Auslegung der Gesamtanlage
- Badtemperatur
- Badumwälzung

Daneben gelten auch unterschiedliche Kriterien, die den Verwurf einer KSS-Emulsion erfordern (vgl. Kapitel 2.5):
- Schlechtes Bearbeitungsergebnis
- Mikrobielle Zersetzung
- Abmagerung
- Zu hohe Schadstoffbelastung.

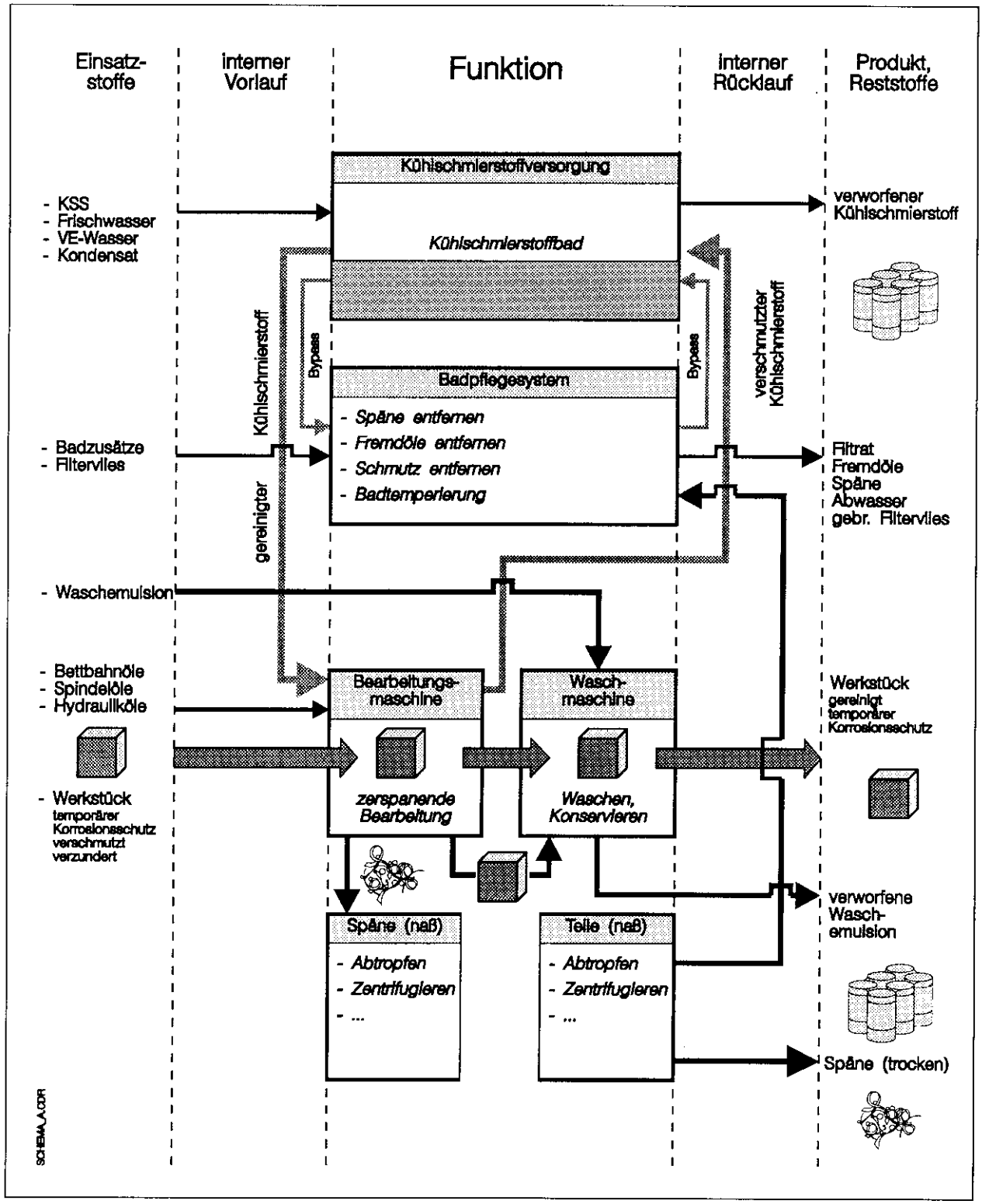


Abb. 4-1: Schema einer Zerspananlage mit Kühlschmierstoff und anschließendem Waschvorgang

Dem Ziel, der Realisierung möglichst langer Badstandzeiten, stehen aber auch Faktoren wie die bestmögliche Arbeitshygiene gegenüber. Bei der Beurteilung von KSS müssen vom Anwender also immer mehrere Aspekte beachtet und gegeneinander abgewogen werden.

Ansetzen einer Emulsion

Bereits beim Ansatz kann die Lebensdauer einer Emulsion maßgeblich beeinflußt werden. Neben dem richtigen Anmischen (Herstellerangaben) ist die Qualität des verwendeten Wassers zu beachten. Zu weiches Wasser (Schaumbildung) ist ebensowenig geeignet wie zu hartes (mindert Emulsionsstabilität). Der Bereich zwischen 10° und 20° Wasserhärte gilt allgemein als gut geeignet. Der Nitratgehalt sollte möglichst gering, auf jeden Fall < 50 mg/l liegen. Für Chlorid gilt das gleiche mit 100 mg/l als oberer Grenzwert.

Zur Vermeidung von Aufkonzentrationen sollten Verdampfungsverluste dagegen nur mit vollentsalztem Wasser ergänzt werden.

Vermeidung und Entfernung von Verunreinigungen

Eingetragene Verunreinigungen beeinflussen insbesondere bei Emulsionen maßgeblich Stabilität und Effektivität der Kühlschmierstoffe. Die wichtigsten Fremdstoffquellen sind:

- Maschine (abgewaschene Bettbahnöle, Hydraulikleckagen)
- Werkstücke, Werkzeuge (Korrosionsschutzöle, Späne, Abrieb)
- Luft (Staub, Gase, z. B. Stickoxide, Keime)
- Personal (unsachgemäße Vermischungen, Abfall, Keime)

Fremdstoffe bieten oft eine ideale Nahrungsgrundlage für Mikroorganismen und beschleunigen deren Wachstum und damit die Zersetzungen des Kühlschmierstoffs. Außerdem können an der großen spezifischen Oberfläche, z. B. von Schleifspänen, chemische Reaktionen ablaufen.

Fremdöle bestehen vorwiegend aus Leckagen der Maschinenhydraulik, abgewaschenen Bettbahnölen und auf dem Werkstück anhaftenden Korrosionsschutzölen, -fetten und -wachsen. Sie werden im ungünstigen Fall einemulgiert oder schwimmen bei ausreichend ruhigem Bad auf und können dann mit Ölskimm-Vorrichtungen (Beschreibung siehe Kapitel 2.4.2) oder mit Separatoren entfernt werden. Die eingeschleppte Fremdölmenge sollte nach Möglichkeit begrenzt werden: Wartung der Hydraulikanlage, bessere Hydraulikabdichtung (Anlagenhersteller), Verarbeitung nicht verölter Teile sind hierzu wichtige Ansatzpunkte. Fremdöle, deren Eintrag unvermeidbar ist, müssen demulgierend sein, um sie überhaupt wieder abtrennen zu können.

Beim Einsatz von Kühlschmierstoffen auf pflanzlicher Basis ist außerdem darauf zu achten, daß auch Hydraulik- und Bettbahnöle auf pflanzlicher Basis eingesetzt werden. Ein Ölgemisch aus Mineral- und Pflanzenölen ist anschließend nicht mehr verwertbar.

KSS-Öle, als nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe, werden durch eingeschleppte Fremdöle in ihrer Leistungsfähigkeit begrenzt. Eine nachträgliche Entfernung ist kaum möglich. Fremdöleintragungen sind daher auch hier zu vermeiden. Eine Alternative bietet der Einsatz von sogenannten Multifunktionsölen, d. h. Hydraulik- und Bearbeitungsöl sind gleichrangig laut Spezifikationsentwurf des Verbraucherkreises Industrieschmierstoffe, VKIS. Dies ist eine relativ neue und in der Praxis noch kaum realisierte Vorgehensweise.

Feste Verunreinigungen stammen in erster Linie aus dem Bearbeitungsprozeß und beinhalten demnach vorwiegend Späne/Metallabrieb sowie ggf. Abrieb der Werkzeuge, hauptsächlich beim Schleifen. Späne sind möglichst kontinuierlich zu entfernen (Lochbleche, Späneförderer). Der Feinanteil/Schlamm muß durch zusätzliche Filtereinrichtungen (Abb. 4-2 sowie Kapitel 2.4.1) kontinuierlich ausgefiltert oder im Absetzbecken abgezogen bzw. per Kratzbandförderer entfernt werden. Es gilt der Grundsatz: Je kürzer die Verweilzeit im Kühlschmierstoff, desto besser. Zur Wahl des Filtrierverfahrens sowie der Filterfeinheit sollte ein Anlagenhersteller hinzugezogen werden. Es sind Filtersysteme ohne Filterhilfsmittel wie z. B. rückspülbare Filter,

Art des Bearbeitungsverfahrens \ Filtersystem	Sedimentationsbecken 2)	Magnetabscheider 1)	Siebkorbfilter 2)	Papierdruckfilter	Zentrifuge	Schrägklärer	Sedimentationsbecken mit Austragsförderer	Magnetabscheider 1)	Zentrifugen mit automatischem Austrag	Hydrozyklonabscheider	Schwerkraftfilter	Vakuumfilter	Druckfilter	Anschwemmfilter 7)	Kombination
	mit manueller Reinigung							mit automatischer Reinigung							
wassergemischte Kühlschmierstoffe, Emulsionen, Lösungen															
Drehen/Bohren/Fräsen	X	X	X4)				X2)	X			X	X	X6)	X6)	X
Bearbeitungszentren							X2)				X	X	X6)	X6)	X
Drehautomaten							X2)				X	X	X6)	X6)	X
Räumen/Tiefbohren		X	X4)					X			X	X	X6)	X6)	X
Rundschleifen		X			X	X5)6)		X	X	X	X	X	X	X	X
Flachschleifen		X				X5)		X	X		X	X	X	X	X
Schleifen von Grauguß						X5)					X5)	X5)	X5)	X	X
Bandschleifen						X5)					X	X	X	X6)	X
Honen											X	X5)	X5)	X	X
nichtwasserlösliche Kühlschmierstoffe, Öle															
Drehen/Bohren/Fräsen	X	X	X4)				X2)	X			X3)	X3)	X3)6)	X6)	X
Bearbeitungszentren							X2)				X3)	X	X3)6)	X6)	X
Drehautomaten							X2)				X3)	X	X3)6)	X6)	X
Räumen/Tiefbohren		X	X3)					X3)			X3)	X	X3)6)	X6)	
Rundschleifen		X			X			X2)			X3)	X	X2)3)	X3)	X
Flachschleifen		X			X			X3)	X		X3)	X3)5)	X2)3)	X3)	X
Schleifen von Grauguß											X3)	X	X2)3)	X3)5)	X
Bandschleifen											X3)		X2)3)	X3)6)	X
Honen											X3)			X3)	X
Funkenerodieren														X3)	X

1) nur bei ferritischem Material
2) bei geringen Ansprüchen
3) bis ca. 35mm²/s cSt/40°C
4) bei geringem Späneanfall
5) nach vorheriger Erprobung
6) ggf. mit Vorabscheider
7) nach vorheriger Erprobung für Emulsion

Abb. 4-2: Mögliche Zuordnung von Bearbeitungsverfahren zu Reinigungssystemen /8/

Endlosbandfilter, reinigbare Filtermatten vorzuziehen. Einwegfilter und -filtervliese bedeuten zusätzlichen Sonderabfall.

Verunreinigungen aus der Luft: Besonders bei Arbeitsgängen mit hohen Schnittgeschwindigkeiten wirken spritzende KSS fast wie eine Gaswäsche der Luft im Arbeitsraum der Maschine. NO_x (Nitrit), Ruß- und Staubpartikel sowie Keime sind die wichtigsten Stoffe, die aus der Luft aufgenommen werden. Bei stark spritzenden Arbeitsgängen ist eine Maschinenkapselung notwendig und auch im Hinblick auf KSS-Spritzverluste sowie lungengängige KSS-Aerosole ein wirksames Mittel zur gleichzeitigen Abfallvermeidung und zum Arbeitsschutz.

Sonstige Verunreinigungen stammen meist aus unsachgemäßer Nutzung von Kühlschmierstoffen und KSS-Bädern. Das Händewaschen mit Kühlschmierstoff ist eine noch recht verbreitete Unart. Die Gefahr der Erkrankung der Mitarbeiter wird, insbesondere von diesen selbst, unterschätzt. Zusätzlich können Keime, insbesondere pathogene Keime, in den Kühlschmierstoff eingeschleppt werden. Die Nutzung von KSS-Bädern als Abfallkorb oder zur „einfachen" Entsorgung sonstiger Reiniger und Flüssigkeiten führt in der Praxis auch immer noch zu unplanmäßigen Ausfällen. Die beste und wichtigste Abhilfe ist hier die umfassende und kontinuierliche Information aller mit den Kühlschmierstoffen in Kontakt kommenden Mitarbeiter. Kühlschmierstoffe sind einerseits recht empfindliche Arbeitsmittel und beinhalten andererseits ein gesundheitliches Gefahrenpotential, welches der gesamten Belegschaft bewußt gemacht werden muß.

KSS-Kreislauf-Systeme: Wartung und Überwachung

Die Möglichkeiten der Standzeitverlängerung sind in erheblichem Maße von der zur Verfügung stehenden Anlagentechnik abhängig. Neben der eigentlichen Werkzeugmaschine, deren Konstruktion KSS-gerecht sein muß (gut zu reinigen, keine toten Winkel, Möglichkeit zur Späne- und Schlammentfernung usw.) sind hier die peripheren Versorgungsanlagen für die KSS-Pflege und Aufbereitungstechnik (Filter, Fremdölabtrennung, Meßeinrichtungen usw.) von Bedeutung.

Schon aus Kostengründen wird bei einzelnen Anlagen keine so umfangreiche Anlagentechnik wie bei Zentralversorgungsanlagen zur Verfügung stehen. Daraus resultieren auch die zum Teil deutlich geringeren Standzeiten gegenüber Zentralanlagen. Entsprechend den innerbetrieblichen Möglichkeiten (räumliche Verhältnisse und Produktionsverfahren) sollte daher eine zentrale KSS-Versorgung aufgebaut und die Anzahl der eingesetzten KSS-Produkte reduziert werden. Die bei längeren Badstandzeiten erforderliche Wartung und Pflege läßt sich personell und anlagentechnisch bei Zentralanlagen wesentlich effektiver durchführen.

Badkontrolle und -pflege können in eigener Regie oder unter Einschaltung von Fremdfirmen, die dann auch über entsprechende Geräte zur KSS-Pflege verfügen, durchgeführt werden. KSS-Emulsionen und -Lösungen sind vom Pflegeaufwand her wesentlich anspruchsvoller als Öle. Bei Emulsionen sollten die folgenden Parameter kontrolliert, protokolliert und ggf. mit entsprechenden Maßnahmen begleitet werden.

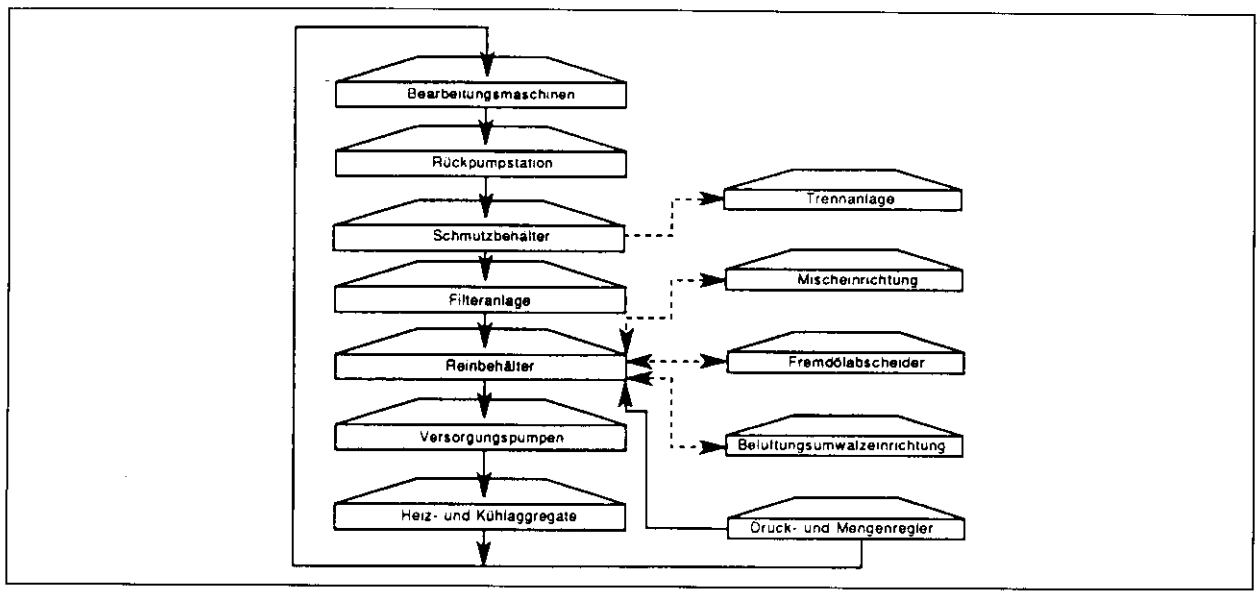


Abb. 4-3: Schema einer KSS-Zentralanlage

Parameter	**- übl. Bereich** **- Grenzwert**	**Meßsysteme z. B.**	**Messungen pro Woche**	**Maßnahmen**
Bei KSS-Emulsionen und -Lösungen				
Konzentration	- 2–10 % (anwendungsspezifisch) - Abw. um 0,5 %	Refraktometer Spaltkolben	2–3	mit fetter Emulsion nachdosieren mit VE-Wasser verdünnen
pH-Wert	- ca. 9 (produktspez.) - deutl. Absinken	pH-Papier pH-Meter	1–2	Indikator für: - Konzentrationsänderung - zu hohe Keimbelastung - Alterung
Nitritgehalt	- 0–10 mg/l - < 20 mg/l	Nitritmeßstäbchen Analyse	1	Analyse auf Nitrosamine ggf. KSS-Wechsel
Leitfähigkeit	- 10–100 µs - > 1000 µs	Leitfähigkeits-Meßgerät	0,5	Indikator f. hohe Schadstoffgehalte wie z.B. gelöste Schwermetalle. Analyse u. ggf. KSS-Wechsel
Keimbelastung	- < 10^4 Keime/ml - > 10^6 Keime/ml	Keimindikatoren Dip-Slides	1–2	Biozide nachdosieren ggf. KSS-Wechsel
Biozidgehalt	- stoffspezifisch, z. B. Formaldehydabspalter 0,1–0,2 % - 0,2 %	Analyse	1–2	Bei Grenzwertunterschreitung gezielte Nachdosierung
Bei KSS-Ölen				
Benzo(a)pyrenkonzentration	- 1–2 mg/kg - 3 mg/kg (Empfehlung)	Analyse	$^1/_2$ jährl.	Leitsubstanz f. PAK-Gehalt KSS-Austausch bei Grenzwertüberschreitung

Abb. 4-4: Parameter zur Überwachung von KSS-Bädern

Insbesondere bei Zentralanlagen kann es durch mangelnde Umwälzung (Wochenende, Maschinenstillstand) zum unkontrollierten Wachstum anaerober Keime kommen. Dies kann durch regelmäßige Umwälzung (Wochenend-Schaltung) vermieden werden.

Wird ein Wechsel der gebrauchten Emulsionen erforderlich, so ist vor einer Neubefüllung die gesamte Anlage gründlichst zu reinigen und zu desinfizieren. Dies ist eine unabdingbare Voraussetzung für hohe Badstandzeiten. Neben der Entfernung aller abgelagerten Schlamm- und Schmutzreste muß die Entfernung und Abtötung von Bakteriennestern, die sich bevorzugt in Toträumen und an unzugänglichen Stellen bilden, gewährleistet werden. Heute werden hierzu sogenannte Systemreiniger, eine Kombination von Netzmitteln, Emulgatoren, Desinfektionsmitteln und Korrosionsschutzmitteln, eingesetzt. Der Altemulsion in 0,5 bis 2 %iger Konzentration zudosiert, wird noch eine Schicht weiter gearbeitet, die Altemulsion dann abgelassen und die Anlage mit Wasser gespült.

4.1.2 Verminderung der Spritz- und Austragsverluste

Die Badverluste durch Austragungen über Späne/Schlämme sowie durch Werkstücke und durch Verspritzen während der Bearbeitung können bis zu 100 % des Badvolumens im Monat betragen (vergleiche Anhang A-5). Ausgedrückt durch den sogenannten Turnover (Verweilzeit), liegen sie bei Bearbeitungsölen, bedingt durch die höhere Viskosität, meist erheblich höher als bei wassergemischten KSS. Maßgeblich beeinflußt werden die Austragsverluste durch Oberfläche und Geometrie der Werkstücke sowie durch das Bearbeitungsverfahren, welches Art, Feinheit und Oberflächen der Späne bestimmt (vergleiche Kapitel 7.2.1).

Spritzverluste sind dagegen mehr von der Bearbeitungsgeschwindigkeit sowie von der Art der KSS-Zuführung (Druck, Zuführungsstelle) abhängig. Sie können nahezu 100 %ig durch Spritzschutzwände oder Arbeitsraumkapselung vermieden werden.

Austragsverluste lassen sich durch Abtropfen, Schleudern oder Abblasen von Spänen und Teilen erheblich reduzieren. Die separierten KSS werden, ggf. über Filter, direkt wieder dem KSS-Bad zugeführt. Während das Schleudern oder Zentrifugieren von Spänen beim Einsatz von Bearbeitungsölen wirtschaftlich und daher weit verbreitet ist (vergleiche Abb. 7-5), können bei Emulsionen Probleme durch Verunreinigungen (anhaftende Fremdöle) und bei zu langer Verweilzeit schon erfolgte Reaktionen an der hohen spezifischen und sehr reaktiven Metalloberfläche auftreten.

Bei den Werkstücken lassen sich erhebliche Anteile bereits durch ausreichend lange Abtropfzeiten (> 1h) zurückgewinnen. Schleudern ist vorwiegend bei kleineren und unempfindlichen Massenteilen empfehlenswert. Abblaseverfahren sind u. a. bei schöpfenden Teilen, die nicht gedreht werden können, vorteilhaft und zeichnen sich durch kurze Verweilzeiten aus. Problematiken wie Lärmentwicklung und KSS-Aerosolbildung sind durch am Markt verfügbare Anlagen lösbar.

Ein zusätzlicher Aspekt neben der Rückgewinnung der Kühlschmierstoffe ist die mögliche oder bessere Verwertbarkeit von Spänen und Schlämmen durch geringere Ölgehalte.

4.1.3 Einsatz abfallarmer Produktionsverfahren

Nach dem heutigen Stand der Technik kann auf Kühlschmierstoffe nicht generell verzichtet werden. Dennoch gibt es durchaus Bereiche, wie z. B. das Zerspanen von Grauguß, bei denen man ohne Kühlschmierstoff auskommt. Systeme mit sogenannter Null-Schmierung werden in der letzten Zeit verstärkt untersucht /9/, haben bis heute aber noch nicht zu allgemeingültigen Spezifikationen geführt.

Mit dem Grundsatz „so wenig wie möglich, so viel wie nötig" lassen sich jedoch oft bereits durch Ausnutzung der pauschalen Sicherheitszuschläge die erforderlichen KSS-Mengen erheblich reduzieren. Der tatsächliche anwendungsspezifische Bedarf an der jeweiligen Bearbeitungsstelle ist zwischen Maschinenhersteller, KSS-Lieferant und Anwender abzuklären. Insbesondere bei Zentralanlagen kann ein systematisches Vorgehen zu erheblich kleineren Gesamtmengen führen.

Hochwertige Werkzeuge (Beschichtung, Keramik), neue Werkzeugtechnologien (innenliegende KSS-Kanäle) sowie die gezielte Aufbringung des Kühlschmierstoffes auf die Wirkstelle beinhalten ein bedeutendes Einsparpotential, ohne die Standzeit und Qualität negativ zu beeinflussen. Ein Beispiel für ein abfallarmes Bearbeitungsverfahren ist die Sprühnebelschmierung, die beim Sägen, Fräsen und Entgraten, insbesondere von Al-Werkstoffen eingesetzt wird. Auf Werkzeug/Werkstück werden nur geringe Mengen Schmiermittel (Fettalkohole, Mineralöle) aufgesprüht. Da diese beim Bearbeiten weitgehend verdampfen, muß eine Absaugung installiert werden.

Bei der Entscheidung über ein Für oder Wider einer bestimmten Produktionstechnik sowie bei der Konstruktion von Werkzeugmaschinen muß in Zukunft der Aspekt abfallarmer Produktionsverfahren verstärkt berücksichtigt werden.

4.2 Konzepte zur Verwertung oder Entsorgung

Die Möglichkeiten zur Verwertung bei den zwei gängigen KSS-Gruppen

- nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe: KSS-Öle
- wassermischbare Kühlschmierstoffe: - KSS-Emulsionen
  - KSS-Lösungen

unterliegen unterschiedlichen Kriterien und müssen daher getrennt betrachtet werden. Von grundsätzlicher Bedeutung ist die getrennte Sammlung der einzelnen Produktgruppen. Bereits beim Einkauf eines KSS sollten Verwertungsmöglichkeiten mit dem Hersteller und dem Verwertungsunternehmen abgeklärt und Problemstoffe substituiert werden. Letzteres betrifft insbesondere chlor- und zinkhaltige KSS. Chlorparaffine als EP-Additiv können heute bis auf wenige Ausnahmen ersetzt werden. Zinkdithiophosphat sollte in jenen Hydraulikölen, Schneidölen und Kühlschmierstoffen substituiert werden, bei denen ein Eintrag in das Abwasser erfolgen kann (Entfettung, Leckage etc.). Zinkdithiophosphat wird sich aufgrund seiner Löslichkeit vornehmlich in der Ölphase anreichern, jedoch wird durch Hydrolyse gelöstes Zink auch in der wäßrigen Phase vorliegen (z. B. Ultrafiltrat). Sofern die Konzentration an Zink den Grenzwert von 2 mg/l überschreitet, ist gemäß Anhang 40 der Allgemeinen Rahmen-Verwaltungsvorschrift (Rahmen-AbwasserVwV) nach § 71 WHG eine Behandlung des Abwassers erforderlich. Hierbei fallen zusätzliche Reststoffe an.

4.2.1 Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe, KSS-Öle

Wie bereits angesprochen, fallen KSS-Öle bei richtiger Pflege (Entfernung von Verunreinigungen und Wasser) nur selten als Abfall an. Auch bei einer erforderlichen Reinigung der Versorgungsanlagen kann der Kühlschmierstoff im allgemeinen aufbereitet und wieder eingesetzt werden.

Ist eine weitere Verwendung nicht möglich, so bestehen in Abhängigkeit vom Verschmutzungsgrad, Inhaltsstoffen und dem jeweiligen Basisöl folgende Verwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten:

Verwertungs-/Entsorgungsweg	Anforderung an Abfall/Reststoff
– Rückgabe an KSS-Hersteller	– Unvermischter Reststoff, geringer Verschmutzungsgrad
– Mineralölindustrie	– Öle auf Mineralöl- oder synthetischer Basis, geringe Schadstoffgehalte (z. B. Cl, PCB)
– Pflanzenölverarbeitende Industrie	– Öle auf Pflanzenbasis mit begrenztem Mineralölanteil
– Hydrierung	– Öle mit z. B. hohen Cl-und PCB-Gehalten
– Verbrennung (thermische Verwertung)	– Öle mit hohem Brennwert und begrenztem Schadstoffgehalt
– Entsorgung (Sondermüllverbrennung)	– Minderwertige Ölgemische mit hohen Schadstoffgehalten

4.2.2 Kühlschmierstoff-Emulsionen

Verbrauchte Emulsionen bestehen in der Regel zu über 90 % aus Wasser sowie dem eingesetzten KSS-Konzentrat, eingeschleppten Verunreinigungen sowie ggf. verwendeten Systemreinigern. Ohne weitere Behandlung sind so vorliegende Altemulsionen weder verwertbar noch entsorgbar. Verwertungswege setzen darüber hinaus eine strikte Stofftrennung, wie z. B. die separate Erfassung von Cl-haltigen Kühlschmierstoffen, Waschemulsionen und KSS-Emulsionen voraus. Der bereits im Kapitel 2.5.2 aufgezeigte Weg zur Auftrennung zu Stoffen, die dann verwertbar oder entsorgbar sind, kann beim Erzeuger oder beim Entsorger/Verwerter durchgeführt werden:

- **Abtrennung nicht einemulgierter Fremdöle → Ölphase**
  Die über Ölskimmer, Separatoren (vergleiche Kapitel 2.4.2) abgetrennte Fremdölphase kann meist als Altöl der Verwertung zugeführt werden. Voraussetzung: Cl-Gehalt $< 0{,}2\,\%$ bzw. PCB-Gehalt < 4 mg/kg. Eine gute Fremdölabtrennung ist Voraussetzung für die Effektivität der nachfolgenden Emulsionsspaltung. Als sehr effektiv hat sich die Fremdölabtrennung mit Unterstützung von H_2O_2 als Flotationshilfe mit dem Nebeneffekt der Keimreduzierung erwiesen. Wegen der starken Oxidationswirkung kann dieses Verfahren aber nur bei verworfenen Emulsionen anwendet werden.

- **Abtrennung fester Verunreinigungen → Schlamm**
  Vor der Emulsionsspaltung sollten Feststoff-Verunreinigungen abgetrennt werden. Bei ausreichender Verweilzeit kann dies im Absetzbecken erfolgen. Der abgezogene Schlamm kann meist nur entsorgt werden. Nur bei hohen Metallgehalten ist eine metallurgische Verwertung denkbar.

- **Emulsionsspaltung → Wasserphase + Ölphase**
  Auf die verschiedenen Emulsionsspaltverfahren wurde ausführlich im Kapitel 2.5.2 eingegangen. Es sind abfallarme Verfahren, wie z. B. die Ultrafiltration, die Spaltung mittels organischer Spalter oder Vakuum-Verdampfungsverfahren vorzuziehen. Das für den jeweiligen Anwendungsfall optimale Verfahren ist zusammen mit KSS-Lieferant und Anlagenhersteller auszuwählen. Betriebseigene Emulsionsspaltanlagen werden im allgemeinen erst bei einem Anfall von $> 50\ m^3/a$ rentabel.
  Beide Phasen, Wasser- und Ölphase, sind prinzipiell verwertbar, müssen aber meist noch nachbehandelt werden.

- **Ggf. Nachbehandlung des Spaltwassers → Wasser + Schlamm**
  Je nach eingesetztem Emulsionsspaltverfahren und Wiedereinsatzmöglichkeiten ist das Spaltwasser nachzubehandeln bezüglich: Restölgehalt, CSB-Wert, Schwermetallgehalt, Salze, Nitrit.

Wegen der Vielfalt der möglichen Verfahren kann im Rahmen dieser Broschüre nicht näher darauf eingegangen werden. Eine innerbetriebliche Wiederverwendung des Wassers, z. B. als Kühlwasser, Waschwasser oder Ansatzwasser zur Ergänzung von Verdampfungsverlusten bei Emulsionen, ist zu prüfen.

- **Ggf. Nachbehandlung der Ölphase aus der Emulsionsspaltung → Ölphase + Wasserphase**
  Entsprechend dem eingesetzten Emulsionsspaltverfahren weist die abgespaltene Ölphase einen für die Verwertung im allgemeinen zu hohen Wassergehalt sowie noch Feststoffverunreinigungen auf. Durch nachgeschaltete Dekanter oder Verdampfer kann der Restwassergehalt auf ca. 10 % gesenkt werden. Mit 3-Phasen-Dekantern werden gleichzeitig die Feststoffe abgetrennt.

- **Entsorgung der Ölphase**
  In Abhängigkeit der verwendeten Basisöle, der Verunreinigungen sowie des eingesetzten Emulsionsspaltverfahrens bestehen folgende Verwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten:

Verwertungs-/Entsorgungsweg	Anforderung an Abfall/Reststoff
– Mineralölindustrie (Zweitölraffinerien)	– Öle auf Mineralöl- oder synthetischer Basis, geringe Schadstoffgehalte (z. B. Cl, PCB). Restwassergehalt < 10 %
– Pflanzenölverarbeitende Industrie	– Öle auf Pflanzenbasis mit begrenztem Mineralölanteil
– Hydrierung	– Öle, insbesondere solche mit hohen Cl- und PCB-Gehalten
– Verbrennung (thermische Verwertung)	– Öle mit hohem Brennwert und begrenztem Schadstoffgehalt
– Entsorgung (Sondermüllverbrennung)	– Minderwertige Ölgemische mit hohen Schadstoffgehalten

4.2.3 Kühlschmierstoff-Lösungen

KSS-Lösungen können nicht wie Emulsionen behandelt werden (vgl. Kapitel 2.5.3). Eine Auftrennung ist nur über Verdampfungsverfahren oder Umkehrosmose möglich. Die Wasserphase kann dann innerbetrieblich gut wiederverwendet, die Ölphase muß dagegen als Sonderabfall entsorgt werden.

Teil B – IST-Analyse des untersuchten Betriebes

5 Beschreibung des untersuchten Betriebes

5.1 Leistungsangebot

Bei dem betrachteten Unternehmen werden im wesentlichen Lohnarbeiten zur Bearbeitung von Wellen und gehäuseähnlichen Teilen unter Einsatz von zerspanenden Verfahren durchgeführt. Als eigene Produktpalette werden hochpräzise hydraulische Spannvorrichtungen für den Einsatz bei genauen Zerspanungsvorgängen sowie Hydraulikteile produziert.

Das mittelständische Unternehmen produziert in 2 Werken an einem Standort. Beide Werke, in denen ein für mittlere Betriebe repräsentativer Querschnitt von Zerspanvorgängen umfassend zur Anwendung kommt, wurden eingehend untersucht.

Im folgenden sind die Anteile der Zerspanverfahren am Gesamtumfang, bezogen auf die Anzahl aller Fertigungsabläufe der Produktion, dargestellt:

	Anteile in %	**Anzahl der Maschinen**
Drehen, Bohren, Fräsen	44	72
Schleifen	10	10
Honen	1	5
Bearbeitungszentren	45	15

Im wesentlichen werden Stahl und Gußlegierungen (Automatenstahl, Maschinenstahl, Werkzeugstahl, Fe-Guß) bearbeitet. Dabei werden 90 % der Gußteile in den Bearbeitungszentren zerspant. Als Sonderwerkstoffe kommen Aluminium und Messing zum Einsatz.

Die Produktion teilt sich folgendermaßen auf die beiden Werke auf:

Werk 1: Ca. 1 500 m^2 Produktionsfläche;
Honen, Drehautomaten, Werkstückwaschanlage

Werk 2: Ca. 3 000 m^2 Produktionsfläche, aufgeteilt in 4 Hallenbereiche mit folgenden Bearbeitungsmöglichkeiten:
CNC-Drehmaschinen, Bearbeitungszentren, Schleifmaschinen, Bohr-, Fräs- und Drehmaschinen für Einzelfertigung und Ausbildung, Sägemaschinen

Im Werk 1 ist eine Teilunterkellerung von ca. 8×10 m^2 vorhanden, die derzeit zu Montagezwecken Verwendung findet. Im Werk 2 ist keine Unterkellerung vorhanden.

Der Schwerpunkt der Betrachtungen wurde hier auf den Teil des Maschinenparkes gelegt, mit dem der überwiegende Anteil der Zerspanarbeit geleistet wird. Nicht berücksichtigt werden somit Maschinen, die z. B. für Ausbildungszwecke oder ähnliche Einzelanfertigungen nur hin

und wieder im Einsatz sind. Ebenfalls nicht betrachtet werden solche Zerspanmaschinen, bei denen ohne Einsatz von Kühlschmierstoffen gearbeitet wird.

Es werden ca. 25 000 Werkstücke/Monat sowie weitere ca. 130 000 Kleinteile/Monat unter Einsatz von Kühlschmierstoffen bearbeitet. Letztere speziell auf den acht Mehrspindelautomaten unter Einsatz von Schneidöl.

5.2 Personal

Die betrachtete Firma beschäftigt in beiden Werken derzeit ca. 160 Mitarbeiter. Davon sind ca. 115 gewerbliche und 45 angestellte Mitarbeiter. Die gewerblichen Mitarbeiter werden zum großen Teil in den betrachteten Produktionsbereichen eingesetzt, in denen weitgehend im 2-Schicht-Betrieb gearbeitet wird. Die Bearbeitungszentren im Werk 2 laufen z. T. im 3-Schicht-Betrieb, wobei die dritte Schicht ohne Personal gefahren wird.

Unterstützt wird die Produktion u. a.:

- Arbeitsvorbereitung (5 Mitarbeiter)
- Kühlschmierversorgung und -entsorgung einschließlich -pflege (1 Mitarbeiter)
- Umweltschutz und Sicherheit (1 Mitarbeiter)
- Instandhaltung (2 Mitarbeiter).

5.3 Investitionen, Neuplanungen und Vorhaben, Untersuchungen

Die betrachtete Firma hat im Jahr 1990 verschiedene Investitionen in Bezug auf Kühlschmierstoffe und Waschemulsionen getätigt. Als wesentlichste Änderung ist die Inbetriebnahme einer Teilewaschanlage auf Wasserbasis unter Einsatz alkalischer Waschmittel zu nennen, welche durch Kreislaufführung der Waschlösung über eine Ultrafiltrationseinheit im wesentlichen abwasserfrei arbeitet. Durch die Umstellung von CKW-Lösemitteln, mit denen zuvor 75 % der Reinigungsvorgänge durchgeführt wurden, konnte somit ein lösemittelfreier und gleichzeitig praktisch abwasserfreier Betrieb erreicht werden.

Weiterhin wird im Werk 2 seit 1990 die ölhaltige Luft aus den Bearbeitungszentren, CNC-Drehmaschinen sowie Schleif- und Fräsmaschinen abgesaugt, durch einen Feinstfilter geleitet und im Umluftbetrieb gefahren. Hierdurch werden saubere Arbeitsbedingungen gewährleistet.

Für das Werk 2 wurde im Jahr 1990 eine fahrbare Zentrifugenanlage erworben, die durch wiederkehrende Behandlung der Behälterinhalte der Schleifmaschinen, Drehmaschinen und insbesondere der Bearbeitungszentren den abgesetzten Schlamm entfernt. Die Behandlungsdauer je Maschine beträgt ca. 5–6 Stunden.

Durch Vereinheitlichung auf zwei Emulsionstypen konnte die Vielfalt der verwendeten Emulsionen auf ein Minimum reduziert werden.

Angedacht wird der Einsatz einer Verdampfungsanlage zur Reduzierung der zu entsorgenden Kühlschmierstoffmengen und gleichzeitigen Gewinnung von Prozeßwasser für den Kühlschmierstoffansatz. Derzeit sind alle Maschinen einzelversorgt. Wünschenswert aus Betreibersicht wäre des weiteren eine zentrale Kühlschmierstoffversorgung. Nähere Untersuchungen wurden jedoch noch nicht durchgeführt.

6 Methodik und maschinelle Ausrüstung

6.1 Fertigungsablauf anhand exemplarisch ausgewählter Werkstücke

In Abb. 6-1 ist beispielhaft der Fertigungsablauf eines in Lohnarbeit, unter Einsatz von Emulsion, zu bearbeitenden Gehäuses aus GG 30 skizziert. Der Rohling wird vom Auftraggeber angeliefert.

Lfd. Nr.	Bearbeitungsvorgang	Maschinen-Inv.-Nr.
1.	Beidseitiges Flachschleifen	062
2.	Manuelle Reinigung durch Abblasen	–
3.	Mechanisches Bohren und Fräsen	121
4.	Manuelle Reinigung durch Abblasen	–
5.	Manuelles Entgraten	–
6.	NC-Bearbeitungszentrum Teil 1	02
7.	Manuelle Reinigung durch Abblasen	–
8.	Absaugen	–
9.	NC-Bearbeitungszentrum Teil 2	03
10.	Manuelle Reinigung durch Abblasen	–
11.	Absaugen	–
12.	Mechanisches Bohren	120
13.	Manuelle Reinigung durch Abblasen	–
14.	Manuelles Entgraten	–
15.	Flachschleifen	061
16.	Manuelle Reinigung durch Abblasen	–
17.	Reinigung durch Waschen	Waschanlage

Abb. 6-1: Fertigungsablauf zur Bearbeitung eines Gehäuses

Kennzeichnend für dieses und viele andere Herstellungsverfahren ist die Zwischenreinigung durch Abblasen mit Preßluft nach der Bearbeitung von Emulsionen, wodurch Waschvorgänge eingespart werden. Hierbei wird der Block mit den aufgespannten Werkstücken (bis zu 20 Stück) von der Maschine genommen und manuell abgeblasen. Nach Abnahme vom Block werden die Werkstücke abgesaugt. Lediglich der letzte Reinigungsvorgang wird immer durch

Waschen in der neu installierten Waschmaschine im Werk 1 durchgeführt. Zwischen den Bearbeitungsgängen wird häufig von Hand Korrosionschutzöl aufgesprüht.

In speziellen Fällen werden Werkstücke nach Schleifvorgängen vor der Montage mit Petroleum ausgewaschen.

6.2 Beschreibung der Anlagentechnik

Im folgenden wird die im betrachteten Betrieb derzeit (Stand August 1991) angewendete Anlagentechnik zur Ver- und Entsorgung von Kühlschmierstoff- und Waschemulsionen sowie zur Späne- und Werkstückbehandlung beschrieben.

6.2.1 Versorgung mit Kühlschmierstoffen

Alle Maschinen werden einzeln mit Kühlschmierstoffen bzw. Waschemulsionen versorgt. Die benötigten Kühlschmierstoffe werden zentral angemischt.

Zum Einsatz kommen die in Abb. 6-2 genannten Kühlschmierstoffe (KSS). Es werden keine chlorhaltigen Kühlschmierstoffe verwendet.

KSS-Bezeichnung	Gebrauchsform	Einsatzbereich	Konzentrat. %
Cincinnati Cimcool MB 703	Emulsion	Drehen, Fräsen, Bohren, Bearbeitungszentren	6–7
Cincinnati Cimcool S 51	Emulsion	Schleifen	3–4
Esso DN 12	Öl	Mehrspindel-Drehen	
Avilub Meacon 686	Öl	Honen	

Abb. 6-2: Kühlschmierstofftypen und Zerspanprozesse

6.2.1.1 Wassermischbare Kühlschmierstoffe (Emulsionen)

Das Ansetzen der Emulsionen erfolgt unter Verwendung von aufbereitetem Wasser (enthärtet und teilweise entsalzt) über eine automatische Dosiereinrichtung. Von der Ansetzeinrichtung wird die Frischemulsion sowohl zur Neubefüllung wie auch zur Nachfüllung zu den jeweiligen Maschinen gebracht.

Die Bearbeitungszentren sowie einige Fräsmaschinen und Mehrspindelautomaten sind mit Späneförderern ausgerüstet. Die Bearbeitungszentren und die Schleifmaschinen verfügen jeweils über Bandfiltereinrichtungen mit einem Filterfeinheitsgrad von 10–15 µm. Die gefilterten Emulsionen werden in die Auffangbecken zurückgeführt. Diese werden einmal monatlich durch eine fahrbare Zentrifuge von den abgesetzten Verschmutzungen gereinigt. Alle verbleibenden Maschinen verfügen über keine Reinigungseinrichtungen.

Während der Stillstandszeiten am Wochenende findet keine Belüftung durch Umwälzung der Emulsionen zur Vermeidung anaerober Zustände statt.

Die Emulsionen werden durch wöchentliche Überprüfung des pH-Wertes und der Konzentration überwacht. Der einzuhaltende pH-Wert liegt zwischen 9,0–9,2 und wird bei Abweichungen durch Zugabe von angemischter Emulsion eingestellt. Die Emulsionskonzentration wird mit Hilfe von Refraktometer-Messungen überwacht. Sie liegt für Bohremulsionen in der Regel bei ca. 6–7 %. Beim Schleifen beträgt die Konzentration 3–4 %. Laboruntersuchungen sind vor Ort nicht möglich. Diese werden durch den KSS-Lieferanten zweimal jährlich durchgeführt. Hierbei werden pH-Wert, Konzentration, Gesamtöl, Fremdöl sowie Bakterien, Pilze und Hefen untersucht.

Abweichungen von der erforderlichen Qualität werden durch Zugabe von angemischtem Kühlschmierstoff bzw. Zugabe von Stabilisatoren auf Kupfersalzbasis korrigiert. Falls Grenzwerte überschritten werden, erfolgt der Austausch des Kühlschmierstoffes in Verbindung mit der Reinigung der Anlagen.

Nach dem Ablassen werden ca. 2 Vol.-% sedimentierte Verschmutzungen (Feinspäne in Schlammform) in den Emulsionsbehältern der Bearbeitungszentren vorgefunden. Bei den Schleifmaschinen und den sonstigen Maschinen (Drehen, Fräsen) beträgt dieser Anteil etwa 5 %. Hierbei ist anzumerken, daß die ständig eingesetzten Bearbeitungszentren und Schleifmaschinen im Laufe der Emulsionsstandzeit mehrmals an die fahrbare Zentrifuge angeschlossen werden, um den Verunreinigungsgrad in Grenzen zu halten.

Da vorwiegend Teile geschliffen werden, die zuvor durch Aufsalzen für die Härterei vorbereitet wurden, ist zu erwarten, daß ein Teil der Salzrückstände in den Emulsionen wiederzufinden ist.

Die verbrauchte Emulsion wird abgesaugt und bis zur Abholung durch den Entsorger zwischengelagert. Sie weist als Gemisch von Bohr- und Schleifemulsion ca. 7 % Ölanteil auf.

6.2.1.2 Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe (Öle)

Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe kommen lediglich in Werk 1 (Drehautomaten, Honen) zum Einsatz. Pflegemaßnahmen für die eingesetzten Schneidöle werden nicht durchgeführt, da diese eine sehr hohe Standzeit aufweisen. Zur Qualitätsabsicherung werden die Füllungen einmal jährlich ausgetauscht, wobei der größere Teil (etwa 70 %) nach einer Sedimentation (Absetzbecken) wieder eingesetzt werden kann. Lediglich der Satz ist der Entsorgung als Altöl zuzuführen.

Zusätzlich werden die ausgetauschten Hydrauliköle, über das Jahr verteilt, den Schneidölen zum Verlustausgleich zugegeben, bevor das Gemisch als Altöl entsorgt wird.

Bei den in Werk 1 eingesetzten Honölen wird, neben dem Ausgleich von Verschleppungen durch Nachfüllen, eine ständige Zwischenreinigung mittels Ölfilter im Nebenstromverfahren durchgeführt. Zur Gewährleistung einer Mindestqualität wird der Inhalt einmal jährlich durch eine Neubefüllung ersetzt.

An Bohrmaschinen, die nicht Gegenstand der näheren Betrachtung sind, kommt für Feinbohrungen bereits ein pflanzlicher Kühlschmierstoff als Sprühnebel in sehr geringen Mengen mit sehr gutem Erfolg zum Einsatz.

6.2.2 Entsorgung von Kühlschmierstoffen

Die zu entsorgenden Kühlschmierreststoffe werden in jedem Werk zentral gesammelt und anschließend vom Entsorger abgeholt. Die Abtropfcontainer und Auffangbehälter für Späne und KSS befinden sich im Freien, sind jedoch durch einen Dachvorbau vor Niederschlägen weitgehend geschützt.

Die abgetropften Emulsionen werden in den Böden der Sammelbehälter an den Maschinen sowie in den Auffangbehältern unter den Abtropfcontainern gesammelt, aus dem sie zur Entsorgung abgepumpt werden. Verbrauchte Bohr- und Schleifemulsionen werden gemeinsam gesammelt und entsorgt.

Das durch die jährliche Neubefüllung anfallende Schneidöl aus den Drehautomaten des Werkes 1 wird in einem Behälter gesammelt. Nach Absetzen wird die Schmutzfraktion entfernt. Der Satz wird als Altöl gemeinsam mit den übrigen Altölen (Hydrauliköl, Honöl etc.) zur Entsorgung abgegeben. Die gereinigte Ölmenge wird in die Drehautomaten zurückgeführt.

6.2.3 Teilewaschanlage

Seit Ende 1990 ist bei dem betrachteten Unternehmen eine Teilewaschanlage auf alkalischer Wasserbasis in Betrieb und ersetzt die bisherige Reinigung mit Anteilen von CKW-Lösemitteln. Die Waschanlage steht in Werk 1 und bedient diejenigen Zerspanprozesse beider Werke, bei denen mit Emulsionen gearbeitet wird. Bei Bearbeitung mit Schneidöl läßt man die Werkstükke lediglich abtropfen. Auf einen Waschvorgang wird verzichtet.

Die wesentlichen Daten der Waschanlage sind:

- Badinhalt: 4 m^3
- pH-Wert: 9,0–9,2
- Waschtemperatur: 70 °C
- Durchsatz: 16 Körbe/h

Die Beschickung der Maschine erfolgt halbautomatisch über Warenkörbe, in welche die Teile von Hand eingelegt werden. Zur Getrennthaltung der Teile werden zwischen die Teilelagen Lochbleche eingelegt. Die Warenkörbe durchlaufen zunächst das Ultraschall-Reinigungsbad (Waschmittel SurTec 133 und Reinigungsverstärker SurTec 089). Anschließend werden die Teile durch das Spülbad geschleust und danach gegen Korrosion (Korrosionsschutz- und Passivierungsmittel SurTec 533) geschützt. In einem Vakuumbehälter werden die Teile getrocknet, bevor sie aus der Maschine geschleust werden.

Die einzelnen Behandlungszeiten in der Maschine sind:

Waschen:	180 s
Spülen:	60 s
Konservieren:	90 s
Trocknen:	330 s

Es wird ein temporärer Korrosionsschutz von ca. 8 Wochen erzielt.

Die Inhalte der einzelnen Waschbehälter werden ständig umgewälzt und Schmutzpartikel herausgefiltert. Nach einer Feststoffiltration wird die Waschemulsion in einer diskontinuierlich betriebenen Ultrafiltrationsanlage von überschüssigem Öl befreit, um der Waschmaschine zu-

rückgeführt werden zu können. Durch die Kreislaufführung arbeitet die Anlage fast abwasserfrei. Bei Verwurf der Waschemulsion wird diese gemeinsam mit den Kühlschmierstoffemulsionen entsorgt. Verworfen wird bei Versottung des Skimmers mit nachfolgender Vakuumverdampfung.

6.2.4 Spänebehandlung vor der Entsorgung

Die durch die Zerspanung entstehenden Späne werden vor der Abgabe an den Verwerter teilweise vorbehandelt. Bei Einsatz von Schneidölen werden die Späne nach Abtropfen durch Zentrifugieren (Werk 1) weiter von Öl befreit, welches wieder in die Fertigung zurückgeführt wird. Späne mit anhaftenden Emulsionen werden, außer durch Abtropfen, keiner weiteren Behandlung unterzogen. Spänebrecher kommen nicht zum Einsatz.

Zur Erfassung der Späne befinden sich an den Maschinen fahrbare Spänekübel, die je nach Maschinenausrüstung manuell oder über Späneförderer beschickt werden. Die Spänekübel werden in die Abtropfcontainer außerhalb des Gebäudes entleert. Die durch den Einsatz der fahrbaren Zentrifuge an den Schleifmaschinen anfallenden Schleifschlämme werden gemeinsam mit den Spänen erfaßt. Der Abtransport der Späne von der Containerstation erfolgt durch den Verwerter.

Angaben über die weitere Behandlung der Späne durch den Verwerter hinsichtlich der restlichen anhaftenden Emulsion sind nicht verfügbar.

6.2.5 Behandlung der Werkstücke nach der Zerspanung

Nach Ablauf verschiedener Zerspanstufen wird jeweils die Oberfläche durch Abblasen gereinigt. Nach der letzten Zerspanung wird der Großteil der bearbeiteten Werkstücke in der oben beschriebenen Waschanlage von Verschmutzungen und anhaftender Emulsion gereinigt und gegen Korrosion geschützt. Der erzielte Korrosionsschutz liegt bei ca. 8 Wochen und ist somit ausreichend bis zur weiteren Bearbeitung.

Für Transport- und Zwischenlagerzwecke werden die Werkstücke in Kisten gepackt. Seit 1990 werden zur Getrennthaltung der Werkstücke anstatt abfallrelevanter Ölpapiere verzinkte Lochbleche eingesetzt. Diese haben sich gut bewährt.

Die mit Schneidöl bearbeiteten Werkstücke werden nicht in der Waschanlage behandelt. Eine Entfernung der Anhaftungen an Werkstücken durch Zentrifugieren findet nicht statt.

7 Bilanzierung der Stoffströme

In diesem Kapitel werden die Einsatz- und Reststoffe der betrachteten Unternehmungsbereiche nach Art und Menge dargestellt. Die Anwendung und der Werdegang der wesentlichen Einsatzstoffe sowie die Entstehung der entsprechenden Reststoffe sind in den Fließbildern Abb. 7-1 und 7-2 schematisch dargestellt.

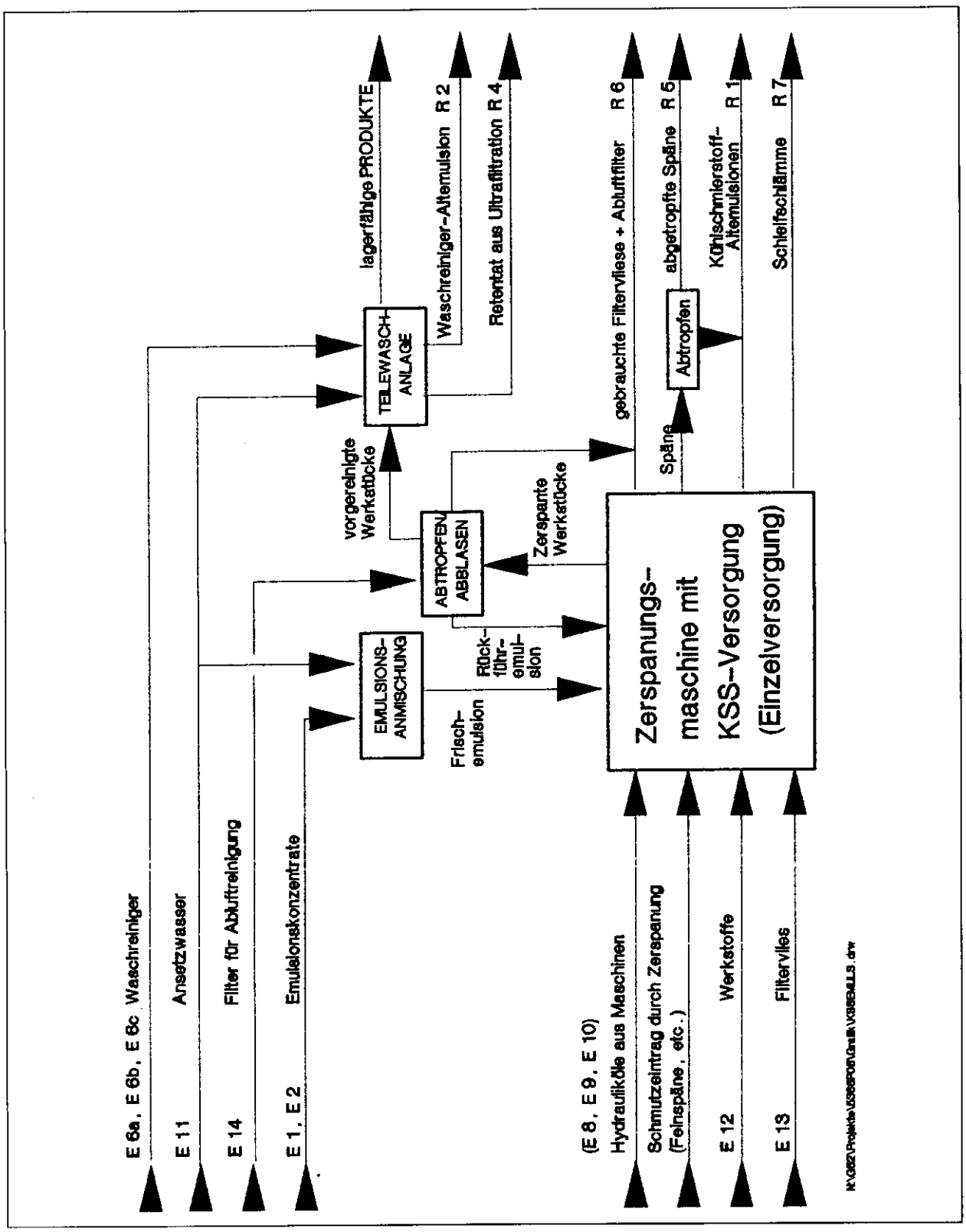


Abb. 7-1: Bilanzierung bei der Zerspanung mit KSS-Emulsionen (Einzelversorgung)

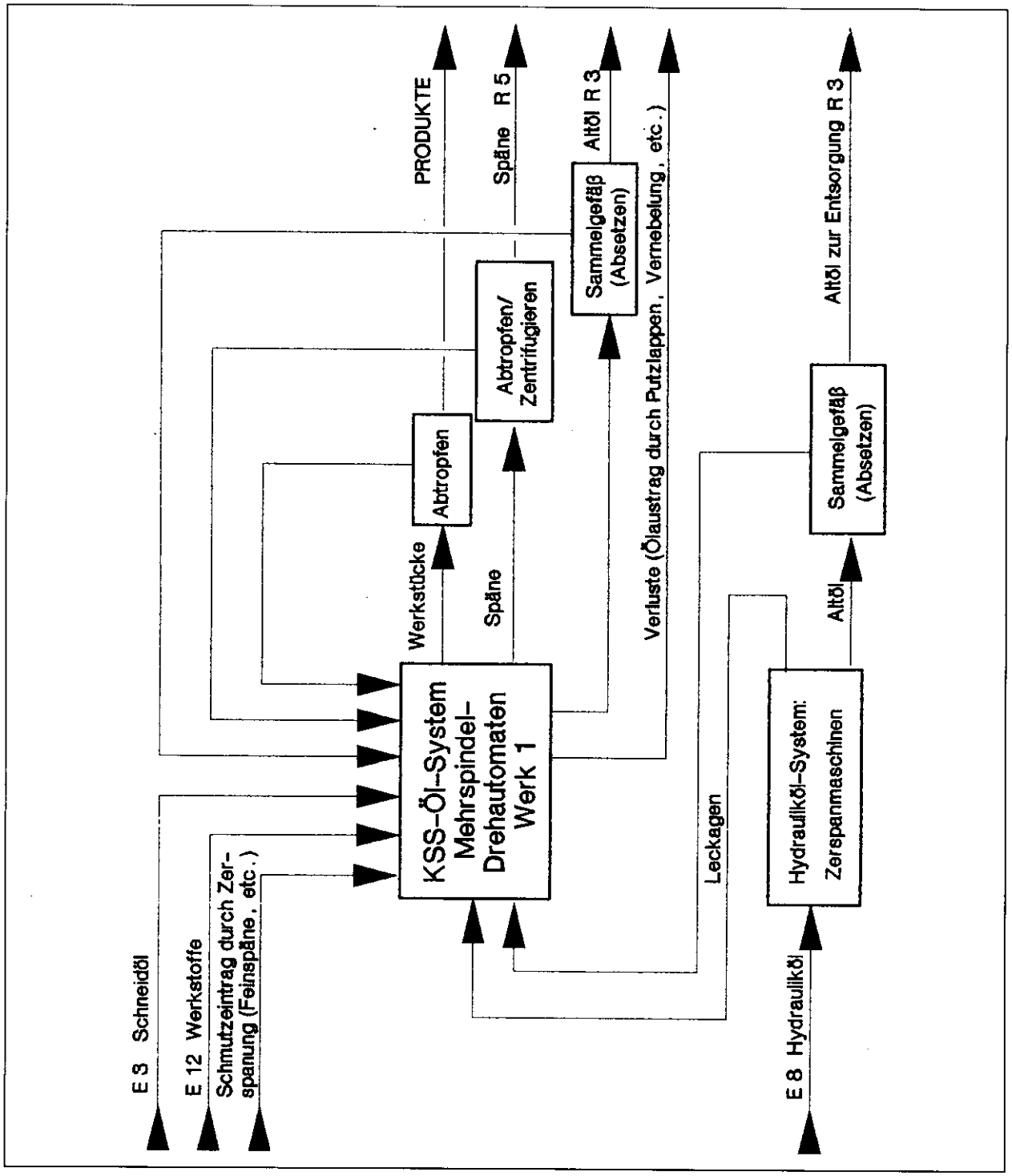


Abb. 7-2: Bilanzierung bei der Zerspanung mit KSS-Ölen (Einzelversorgung)

7.1 Eingesetzte Arbeitsstoffe

Im untersuchten Produktionsbetrieb kamen im Jahr 1990 die in Abb. 7-3 aufgelisteten Kühlschmierstoffe, Werkstoffe und Hilfsstoffe zum Einsatz.

Die eingesetzten Emulsionen werden als Konzentrate bezogen, in denen bereits ein Wasseranteil vorliegt (Abb. 7-4). Die Anwendungskonzentrationen richten sich nach den jeweiligen Einsatzbedingungen. Bei Bohremulsion wird ein höherer Schmierstoffanteil gefordert als beim Schleifen. Aufgrund von hohen Verdampfungsverlusten werden die Ergänzungsbefüllungen mit geringeren Konzentrationen angesetzt.

Abb. 7-3: Art und Mengen der Einsatz- und Reststoffe (Bilanzzeitraum 1990; Angaben sind mit Ausnahme von Honöl mengenmäßig im wesentlichen den untersuchten Maschinen und Anlagen zuzuordnen)

Einsatz-stoff-gruppe/Nr.	Stoff-/Produktbezeichnung	Anwendungs-form	Badstandzeit	Menge/ Jahr	Entstehende Rest-stoffe/Produkte	Menge/ Jahr	Reststoff-/ Produkt-gruppe
Kühlschmierstoffe							
E1	Cincinnati Cimcool MB 703 (Konzentrat)	Bohremulsion (6–7 %)	4–6 Mon., (E)[1]	3,84 t	Kühlschmierstoff-Altemulsionen	ca. 100 m^3	R1
E2	Cincinnati Cimcool S 51 (Konzentrat)	Schleifemulsion (3–4 %)	4–6 Mon., (E)[1]	0,8 t			
E3	Esso DN 12 (Schneidöl)	Öl	unbegrenzt	7,0 m^3	Altöle (Schneidöl, Honöl, sonst. Öle)	3,0 t	R3
E4	Avilub Metacon 686 (Honöl)	Öl	unbegrenzt	1,1 m^3			
E5	CooLube (Schneidöl, pflanzlich)	Öl-Nebel	–	n. b.	keine Reststoffe (nicht erfaßbar)	–	–
Waschreiniger							
E6a	Sur Tec 133 M (alkalischer Reiniger)	1,2 % alkalisch	nicht näher spezifizierbar, da noch nicht ausreichend Betriebserfahrungen vorliegen	0,24 t (Gesamtwaschreiniger)	Retentat aus Ultrafiltration (Altöl)	0,25 t[2]	R4
E6b	Sur Tec 533 (Korrosionsschutz und Passivierung)	0,8 % alkalisch			Waschreiniger-Altemulsion	noch kein Erfahrungswert	R2
E6c	Sur Tec 089 (Reinigungsverstärker)	0,4 % alkalisch					
E7	Petroleum (zur Reinigung vor Montage, wenn erforderlich)	Öl	–	ca. 0,1 t	Verschmutztes Petroleum	insges. in R 3 enthalten	s. R3

[1] E = Einzelversorgung; Emulsion wird nachgefüllt, wenn Behälter erheblich entleert ist. [2] Hochgerechnet auf Basis 1. Halbjahr 1991.

Abb. 7-3: Art und Mengen der Einsatz- und Reststoffe (Bilanzzeitraum 1990; Angaben sind mit Ausnahme von Honöl mengenmäßig im wesentlichen den untersuchten Maschinen und Anlagen zuzuordnen)

Einsatzstoffgruppe/Nr.	Stoff-/Produktbezeichnung	Anwendungsform	Badstandzeit	Menge/Jahr	Entstehende Reststoffe/Produkte	Menge/Jahr	Reststoff-/Produktgruppe
Hydraulik-, Schmier- und Bettbahnöle							
E8	ESSO HLPD 46 (Hydrauliköl)	Öl	(regelm. Austausch nach 1 Jahr)	7,0 m^3	Altöle (Schneidöl, Honöle, sonstige Öle)	insges. in R 3 enthalten	s. R3
E9	ESSO NUTO H10 (Spindelöl)	Öl	–	0,4 m^3			
E10	ESSO Febis K68 (Bettbahnöl)	Öl	–	3,5 m^3			
Sonstige Arbeitsstoffe							
E11	Ansatzwasser für Neubefüllung und Nachfüllung von Emulsionen (enthärtet und teilweise entsalzt)	–	–	250 m^3	Kühlschmierstoff-Altemulsion	insges. in R1 u. R2 enthalten	s. R1
					Waschreiniger-Altemulsion		s. R2
E12	Werkstoffe (Maschinenstahl, Grauguß, Sonderwerkstoffe)	–	–	ca. 1300 t	Späne, Schleifschlämme	ca. 241 t n. b., in R5 und R6 enthalten	R5
E13	Filtervlies für Bandfilter zur Emulsionsreinigung	–	kontin. Durchlauf	ca. 10 000 m^2	Gebrauchte Filtervliese aus Bandfilteranlagen	ca. 5,1 t	R6
E14	Filter für Abluftreinigung	–	regelm. Austausch	ca. 60 m^2	Ölhaltige Filtereinsätze aus Abluftreinigung	in R6 enthalten	s. R6
E15	Ölpapier zur Teilezwischenlagerung	–	–	n. b.	Verbrauchtes Ölpapier	in R6 enthalten	s. R6

Emulsionskonzentrat		Cimcool MB 703	Cimcool S 51
Wasseranteil im Konzentrat	%	16	50
Ölanteil in Emulsion für Neubefüllung	%	6–7	3–4
Ölanteil in Emulsion für Ergänzungsbefüllungen	%	1,5–2 (CNC-Drehen, Bearbeitungszentren) 4–5 (Drehen, Fräsen, Sägen)	< 1
pH-Wert (Sollwert)	1	9–9,2	8,8

Abb. 7-4: Basisdaten der eingesetzten Emulsionen

Einsatzstoffe – Erläuterungen zu Abb. 7-3

E1-E2: **KSS-Emulsionen**
Jährlich werden ca. 4,6 t Konzentrate für KSS-Emulsionen (Konzentration: zwischen 3 und 7 %) eingesetzt. Den KSS-Bädern werden, in Abhängigkeit vom eingesetzten Zerspanverfahren, zudem verschiedene Additive (z. B. 1 l Härteausgleichsmittel auf 1 000 l KSS-Emulsion) zugesetzt.

E3-E4: **KSS-Öle**
Im Bilanzzeitraum 1990 wurden ca 7,0 t KSS-Öle für die Drehautomaten eingesetzt. Zusätzlich kommen gebrauchte Hydrauliköle zu Schneidzwecken zum Einsatz (siehe E 7). Die angeführte Honölmenge (E 4) kommt nicht in der hier betrachteten Fertigung zum Einsatz, wird jedoch wegen der gemeinsamen Entsorgung vollständigkeitshalber angegeben.

E5: **Schneidöl auf Pflanzenbasis**
Für Feinbohrungen an Bohrmaschinen, die nicht Gegenstand der näheren Betrachtungen sind, wird versuchsweise ein KSS-Öl auf Pflanzenbasis eingesetzt. Vorteilhaft sind die geringen einzusetzenden Mengen und die zu erwartende bessere Umweltverträglichkeit.

E6a-E6c: **Waschreiniger**
Insgesamt wurden 0,24 t alkalische Reinigerprodukte, einschließlich Korrosionsschutz und Passivierung, eingesetzt.
Die zum Einsatz kommende Waschemulsion SurTec 133 wird als pulverförmiges Konzentrat geliefert, das auf die Anwendungskonzentration von ca. 1,2 % angemischt wird.

E7: **Petroleum**
Petroleum (ca. 100 kg/a) wird zur gelegentlichen Reinigung von Werkstücken nach Schleifvorgängen vor der Montage eingesetzt.

E8-E10: **Hydraulik-, Schmier-, Bettbahnöle**
Hydrauliköle dienen zum Antrieb der beweglichen Maschinenteile und werden in geschlossenen Systemen geführt. Über Leckage an Dichtungen gelangen sie je-

doch z. T. in die KSS-Bäder. Bettbahn- und Schmieröle werden überwiegend zur Verringerung der Reibungsverluste an Gleitbahnen eingesetzt und gelangen durch Überfluten mit KSS ebenfalls in die KSS-Bäder.

E11: **Ansetzwasser**
Die Emulsions-Konzentrate werden mit enthärtetem und teilweise entsalztem Frischwasser zu einer Emulsion mit definierter Konzentration angesetzt. Ebenfalls werden die Waschreiniger mit Ansetzwasser auf die Anwendungskonzentration angemischt.

E12: **Werkstoffe**
Im untersuchten Fertigungsbereich werden vorwiegend Grauguß und Maschinenstähle verarbeitet. Nur in sehr geringem Umfang kommen Sonderwerkstoffe zum Einsatz.

E13: **Filtervliese**
Vliese werden als Filterhilfsmittel bei Unterdruck- und Schwerkraftfiltern zur Reinigung von KSS-Emulsionen eingesetzt.

E14: **Filter für Abluftreinigung**
Luftfilter kommen zur Reinigung der ölhaltigen Abluft, die von verschiedenen Zerspanmaschinen abgesaugt wird, zum Einsatz.

E15: **Ölpapier zur Teilezwischenlagerung**
Um Korrosionsschäden an bereits bearbeiteten Werkstücken zu vermeiden, werden sie gelegentlich zur Zwischenlagerung in Ölpapier eingepackt.

7.2 Anfallende Reststoffe

Die wesentlichen aus der Zerspanung resultierenden Reststoffe sind in der Übersicht Abb. 7-5 zusammengestellt.

Bei den in Kap. 5.1 aufgeführten Produktionsanlagen/-maschinen fallen verbrauchte Bohr- bzw. Schleifemulsionen an, die gemeinsam entsorgt werden. Der Verbrauch und die zu entsorgenden KSS-Emulsionsmengen waren über die vergangenen Jahre hinweg in etwa konstant. Aus der Waschanlage ist mit verbrauchten Waschemulsionen zu rechnen, die seit Aufnahme des Dauerbetriebs jedoch noch nicht regelmäßig angefallen sind. Die Entsorgung erfolgt gemeinsam mit den verbrauchten Kühlschmierstoffemulsionen. In der Waschanlage fallen als Retentat der Ultrafiltration regelmäßig geringe Mengen von Altöl an, die gemeinsam mit den verschmutzten bzw. ausgetauschten Schneid- und Hydrauliköl en entsorgt werden.

Aus der Zerspanung fallen Späne der verschiedenen Werkstoffe an. Stahl- und Gußspäne werden gemeinsam gesammelt und zur Verwertung abgegeben, da am Markt keine wesentlichen Preisunterschiede bestehen. Die Späne aus Sonderwerkstoffen werden getrennt gesammelt und verwertet.

Abb. 7-5: Zusammenstellung der anfallenden Reststoffe in der zerspanenden Fertigung

Rest-stoff-gruppe	Reststoff-Bezeichnung	Abfall-schlüs-sel	Menge/ Jahr	Entsor-gungsweg[1] (nach TA Abfall)	Zusammensetzung	Einsatz-stoffgruppe (Herkunft)
R1	Kühlschmierstoff-Altemulsion	54401 54402	100 m^3	CPB, SAV	verbrauchte KSS, Fremdöle (u.U. einemulgiert), Metallfeinstäube	E1, E2, E11
R2	Waschreiniger-Altemulsionen	54402	noch kein Erfahrungswert	CPB, SAV	verbrauchter Waschreiniger, Fremdöle (u.U. einemulgiert), Metallfeinstäube	E6a, E6b, E6c, E11
R3	Bohr-, Schneid- und Schleiföl Monoöle	54109 54404	3,0 t	CPB, SAV CPB, SAV	Verworfene Schneid- und Hydrauliköle sowie Leckagen von Bettbahn- und Schmierölen Verworfene Honöle	E3, E4, E8, E9, E10,
R4	UF-Retentat, Schlamm aus Öltrennanlage, Waschanlage	54402 54703	0,25 t[2]	SAV	durch Werkstücke in die Waschanlage eingetragene Öle, die durch Ultrafiltration abgetrennt wurden	E1, E2, E3, E4 (E6a-c, E8, E9, E10, E11)
R5	Späne (Eisenschrott)	35103	241 t	-	Grauguß, Maschinenstahl, Sonderwerkstoffe	E12
R6	gebrauchte Filtervliese, etc.	18710 18711	5,1 t	HMV, SAV HMD, SAD	Filtervliese mit KSS-Schlamm, Abrieb und metallische Feinstäube aus Bandfilteranlagen, ölhaltige Filtereinsätze aus Abluftreinigung, Ölpapier aus Werkstück-Zwischenlagerung	E13, E14, E15
R7	Schleifschlämme	54710	[3]	SAV, SAD	Metallfeinspäne, Anteile von Korund und KSS	E12

1) CPB = Abholung durch Entsorger mit anschl. chemischer-physikalischer Behandlung, SAV = Sonderabfall-Verbrennungsanlagen

2) Hochgerechnet auf Basis 1. Halbjahr 1991 3) Menge ist in R5 (Späne) enthalten

Die Filtervliese, die zur Feinreinigung auf Bandfiltern (Bearbeitungszentren, Schleifmaschinen) zum Einsatz kommen, werden nach einmaligem Gebrauch entsorgt. Ebenso fallen die ölhaltigen Filtereinsätze aus der Behandlung der abgesaugten Luft zur Entsorgung an.

Die an den Schleifmaschinen anfallenden Schleifschlämme werden gemeinsam mit den Spänen verwertet.

Abfälle/Restoffe – Erläuterungen zu Abb. 7-5

R1: **KSS-Altemulsionen**
Badinhalte, die nach Ende der Standzeit verworfen werden (Abfallschlüssel 54402). Eine interne Stoffbehandlung (z. B. Aufkonzentration) vor der Entsorgung wird nicht durchgeführt (Stand August 1991).

R2: **Waschreiniger-Altemulsion**
Die Waschemulsionen (Abfallschlüssel 54402) werden im untersuchten Unternehmen mit den KSS-Emulsionen gemeinsam entsorgt.

R3: **Bohr,- Schneid- und Schleiföle**
Verworfene Schneid- und Hydrauliköle sowie darin enthaltene Leckagen von Bettbahn- und Schmierölen (Abfallschlüssel 54109). Diese Position enthält ebenfalls verworfene Honöle (Abfallschlüssel 54404), die jedoch nicht Bestandteil der betrachteten Fertigung sind. Die Entsorgung erfolgt gemeinsam.

R4: **UF-Retentat (Altöle) aus Teilewaschanlage**
Durch den fast abwasserfreien Betrieb der Waschanlage ist die ständige Entfernung von eingetragenen Fremdölen erforderlich. Dies erfolgt nach Feststoffiltration durch Ultrafiltration. Dabei fällt ein Ölkonzentrat an, das nicht wiederverwertbar ist und unter Abfallschlüssel 54703 „Schlamm aus Öltrennanlagen" entsorgt werden muß.

R5: **Späne (Guß, Stahl, Sonderwerkstoffe)**
Die Späne (Abfallschlüssel 35103 „Eisenschrott") werden nach Erfassung im Spänekübel an der Maschine, mit einer Ausnahme, unmittelbar nach Abtropfen zu den zentralen Abtropfcontainern gebracht, dort durch ein Entsorgungsunternehmen abgeholt und in Stahlwerken als Rohstoff wiederverwertet. Bei Einsatz von Schneidölen an den Drehautomaten werden die Späne nach Abtropfen zusätzlich durch Zentrifugieren von Öl befreit.

R6: **Gebrauchte Filtervliese etc.**
Beladene Einweg-Vliese (Abfallschlüssel 18710 „Papierfilter mit schädlichen Verunreinigungen, vorwiegend organisch", 18711 „Papierfilter mit schädlichen Verunreinigungen, vorwiegend anorganisch"), die nach dem Einsatz verworfen werden. Bei den im Vlies aufgefangenen Schmutzstoffen handelt es sich u. a. um Öl-Schlämme, feine Metallspäne und Abrieb von Schleifscheiben. Weiterhin werden ölhaltige Filtereinsätze aus der Abluftreinigung sowie Ölpapier aus der Werkstückzwischenlagerung gemeinsam mit den Filtervliesen entsorgt.

R7: **Schleifschlämme**
Ölhaltige Schleifschlämme (Abfallschlüssel 54710) als Gemisch aus Metallfeinstäuben, Ölanteilen sowie Schleifscheibenabrieb werden durch Filtersysteme aus dem KSS ausgetragen. Sofern die Schleifschlämme bestimmte Ölgehalte unterschreiten, können sie verwertet oder auf Sonderabfalldeponien (SAD) abgelagert werden. Im vorliegenden Fall werden sie gemeinsam mit den Spänen erfaßt.

7.2.1 Verschleppte Kühlschmierstoffe durch Späneaustrag

7.2.1.1 Verschleppung von KSS-Ölen

Bei nichtwassermischbaren Kühlschmierstoffen (KSS-Ölen) ist die Verschleppung durch Späne aufgrund der hohen spezifischen Oberfläche in Verbindung mit der vergleichsweise hohen Viskosität und somit Haftwirkung der Öle von besonderer Bedeutung. In der betrachteten Produktion werden Schneidöle lediglich bei Ein- und Mehrspindel-Drehautomaten eingesetzt. Die anfallenden Späne werden nach einer Abtropfzeit von ca. 4 Stunden zentrifugiert, um die Verschleppungsrate so gering wie möglich zu halten. Das abzentrifugierte Öl wird wieder in die Fertigung zurückgeführt.

Werte über die Verschleppung nach Abtropfen bzw. nach Zentrifugieren konnten in der betrachteten Produktion nicht ermittelt werden. An dieser Stelle sollen jedoch anderweitig ermittelte Orientierungswerte angeführt werden. Es wurde das Späneabtropfverhalten beim Abwälzfräsen, Räumen sowie Tieflochbohren untersucht. Aufgrund der Bearbeitungsart und somit Spanstruktur erscheinen die Ergebnisse beim Tieflochbohren am ehesten auf die im betrachteten Betrieb eingesetzten Drehautomaten übertragbar.

Die Ergebnisse in Abb. 7-6 zeigen, daß die Verschleppung durch 24-stündiges Abtropfenlassen auf 34 %, durch Zentrifugieren auf 10 % gegenüber der unmittelbar nach Bearbeitung feststellbaren Verschleppung reduzierbar ist. Durch Zentrifugieren ist somit, gegenüber alleinigem Abtropfen, eine Reduzierung der Verschleppung um $^2/_3$ zu erwarten.

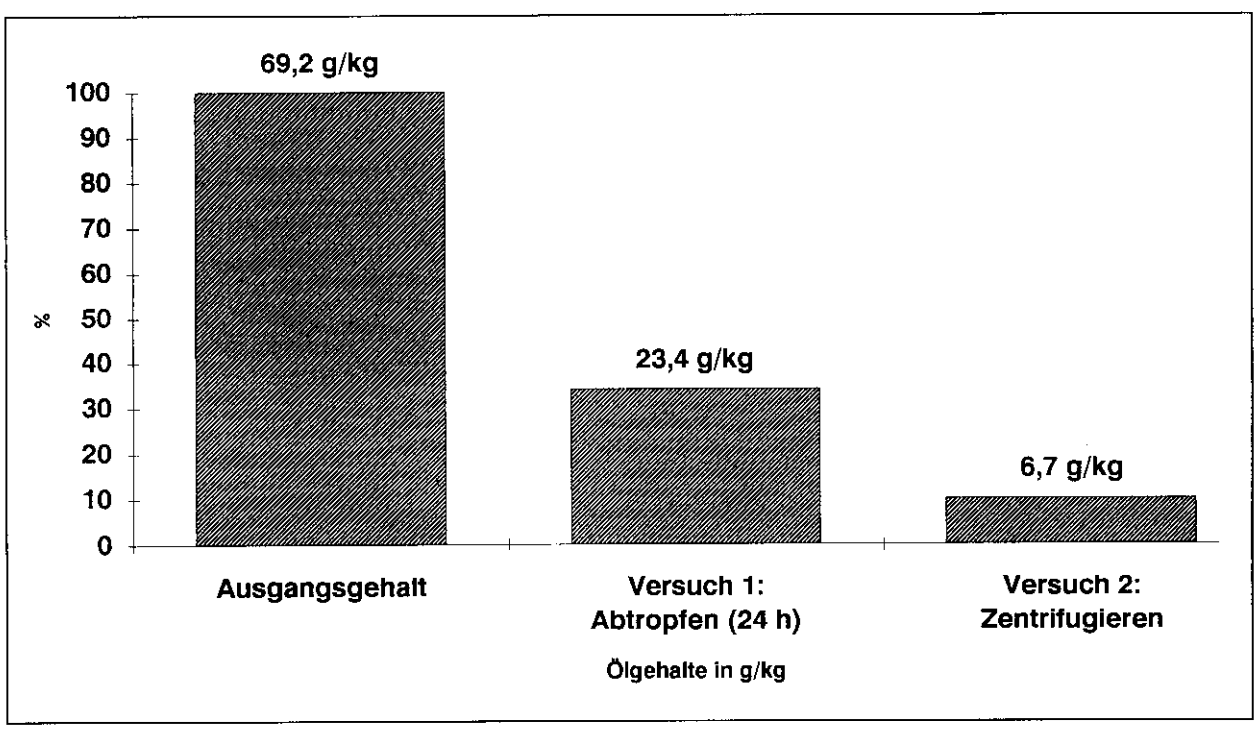


Abb. 7-6: Verschleppung von KSS-Ölen durch Späne beim Tieflochbohren (Ergebnisse aus /11/)

Ohne Abtropf- und Zentrifugiermaßnahmen würden im untersuchten Betrieb etwa 40 m^3/a an Schmierölen ausgeschleppt. Durch die bereits erwähnten Maßnahmen (4 h Abtropfen + Zentrifugieren) reduzieren sich die Austragsverluste auf ca. 4 m^3. Die erzielte Einsparung beträgt somit etwa 90 %. Durch Zentrifugieren werden gegenüber alleinigem Abtropfen zusätzlich ca.

8 m^3/a zurückgewonnen. Bei entsprechend kürzeren Abtropfzeiten liegen die Differenzen entsprechend höher.

Die Nachfüllmengen zum Ausgleich von Verschleppungen durch Späne und anderweitigen Verlusten (Austrag über Werkstücke, Putzlappen, Vernebelung, etc.) betragen ca. 6 m^3/a.

7.2.1.2 Verschleppung von KSS-Emulsionen

Zur Ermittlung der Verschleppung von KSS-Emulsionen durch Späne konnten keine Versuche durchgeführt werden. Zur Orientierung wurden in Abb. 7-7 Ergebnisse aus anderen Abtropfuntersuchungen zusammengestellt. Insgesamt werden ca. 13,5 m^3/Monat an Emulsionen für die betrachtete Produktion nachgefüllt. Diese Verluste werden sowohl durch Verdunstung wie auch durch Verschleppung mit Spänen und Werkstücken verursacht.

Bearbeitungsart	**Einheit**	**Emulsionsgehalt der Späne nach**		**Reduzierung um**
		Bearbeitung	**24 Std. Abtropfen**	
Bohren	g/kg %	62,9 100 %	59,9 95 %	3,0 4,8 %
Ablängen und Zentrieren	g/kg %	86,0 100 %	69,2 80 %	16,8 19,5 %
Räumen (Maschine 1)	g/kg %	75,0 100 %	53,4 71 %	21,6 28,8 %
Räumen (Maschine 2)	g/kg %	205,7 100 %	134,5 65 %	71,2 34,6 %
Durchschnitt	**g/kg** **%**	**107,4** **100 %**	**79,2** **74 %**	**28,2** **26 %**

Abb. 7-7: Verschleppungen von Kühlschmierstoff-Emulsionen durch Späne (Ergebnisse aus /11/)

Der Wirkungsgrad von Zentrifugen für KSS-Emulsionen konnte nicht ermittelt werden, da im untersuchten Unternehmen keine entsprechende Einrichtung vorhanden ist. An den Spänen lagern sich bevorzugt auch Schmutz und Fremdölanteile ab. Die Gebrauchsfähigkeit der zentrifugierten KSS-Emulsionen muß daher vor Rückführung in den KSS-Kreislauf geprüft werden.

7.2.2 Verschleppte Kühlschmierstoffe durch Werkstücke

Im untersuchten Betrieb werden ca. 25 000 Werkstücke/Monat mit Emulsionen sowie ca. 130 000 Kleinteile/Monat mit Schneidölen bearbeitet. Die durchschnittliche Oberfläche von Werkstücken, über welche Emulsionen verschleppt werden können, liegt bei ca. 75 m^2/1 000 Teile (entsprechend 0,075 m^2 pro Werkstück). Angaben zu Kleinteilen (Ventilsitze, Schrauben, Unterlagscheiben, Blindstopfen etc.) liegen nicht vor. Es wird dafür eine Größenordnung von ca. 3 m^2/1 000 Teile (30 cm^2/Teil) angenommen. Mangels konkreter Messungen werden im folgenden Ergebnisse aus anderen Untersuchungen /11/ aufgeführt.

Verschleppung von KSS-Ölen

Die in einem anderen Unternehmen ermittelten Verschleppungen wurden nach Abtropfen durch Abwaschen mit Benzin ermittelt. Durch Verdampfen des Benzins konnte das zurückbleibende Öl gewogen werden. Die Ergebnisse sind in Abb. 7-8 dargestellt.

Teilebezeichnung	**Verschleppte KSS-Menge nach 24 Stunden Abtropfen**
Nebenwelle	4,9 g/Teil
Zahnrad	2,4 g/Teil
Endantriebswelle	3,6 g/Teil
Zahnkranz	4,4 g/Teil
Hohlwelle	2,4 g/Teil
Durchschnitt	**3,6 g/Teil**

Abb. 7-8: Verschleppung von Kühlschmierstoff-Ölen durch Werkstücke (Ergebnisse aus /11/)

Im folgenden wird unter Berücksichtigung der kleineren Oberfläche eine Verschleppung von ca. 0,1–0,3 g/Teil angesetzt werden. Die abgeschätzte Gesamtmenge liegt dann bei ca. 150–500 kg/a.

Verschleppungen von KSS-Emulsionen

Im untersuchten Unternehmen sind ca. 13,5 m^3/Monat an Emulsions-Nachfüllungen zu tätigen, die zu einem gewissen Anteil durch Verschleppungen mit Werkstücken verursacht werden.

Im Vergleich erkennt man, daß beim Einsatz von Emulsionen wesentlich geringere KSS-Mengen durch die Werkstücke ausgetragen werden.

Teilebezeichnung	Verschleppte KSS-Menge nach 24 Stunden Abtropfen
Schaltmuffenträger	1,4 g/Teil
Synchronrad	0,6 g/Teil
Kegelrad	0,8 g/Teil
Lenkkolbenstange	1,3 g/Teil
Durchschnitt	**1,0 g/Teil**

Abb. 7-9: Verschleppung von KSS-Emulsionen durch Werkstücke (Ergebnisse aus /11/)

Bei Zugrundelegung ähnlicher Verschleppungsmengen pro Werkstück im untersuchten Unternehmen, bei ähnlich großen Werkstücken, ist bei 25 000 Werkstücken pro Monat nach 24-stündigem Abtropfen mit einer Verschleppung von ca. 25 kg/Monat zu rechnen, was im Vergleich zur eingesetzten Emulsionsmenge verschwindend gering ist. Die typische tatsächliche Abtropfzeit im untersuchten Produktionsbereich liegt derzeit bei ca. zwei Stunden, wodurch die Verschleppung auf maximal 100 kg/Monat geschätzt wird. Im Vergleich zur nachzufüllenden Menge sind dies weniger als 1 %.

Hierbei ist eine Verringerung durch den Abblasevorgang noch nicht berücksichtigt.

7.2.3 Altemulsionen

Im untersuchten Unternehmen ist die Durchführung von Emulsionsanalysen nicht möglich. Die Altemulsion wird mit ca. 8 % Ölgehalt an den Entsorger abgegeben. Analysewerte des Entsorgers sind ebenfalls nicht verfügbar, weshalb hier keine näheren Angaben über die genaue Zusammensetzung (Ölgehalt, Fremdöle, CSB, Schwermetalle etc.) gemacht werden können.

7.2.4 Untersuchung von Leckagen

Über die Einzelmengen an Hydraulik- und Schmierölen liegen keine Angaben vor, aber über den Gesamtverbrauch aller Maschinen. Dieser setzt sich aus den jährlichen Ölwechseln sowie den Verbräuchen und Leckagen (in den Kühlschmierstoff und durch Schlauchplatzen) zusammen. Die Leckagekennzahl (jährliche Verlustmenge durch Leckagen bezogen auf den Füllinhalt an Hydrauliköl) kann somit nicht für einzelne Maschinen ermittelt werden. Sie wird daher für alle Maschinen mit Hydrauliköl bestimmt (Abb. 7-10). Die zur Berechnung angesetzten Prozentsätze zur Aufschlüsselung der Nachfüllmenge in Leckage- und Verbrauchanteile sind Erfahrungswerte.

Anzahl der Maschinen mit Hydrauliköl	38
Typischer Hydraulikölinhalt einer Maschine	ca. 80 l
Gesamtjahresverbrauch an Hydrauliköl davon	7 000 l/a
– 38 × 80 l für jährlichen Ölwechsel **(Badvolumen)**	3 040 l/a
– für **Nachfüllungen**	3 960 l/a
Verbrauch für Nachfüllungen davon erfahrungsgemäß	3 960 l/a
– 20 % Verbrauch durch Maschine (Verdunstung, etc.)	790 l/a
– 80 % Verlust durch **Leckagen**	3 170 l/a
Leckagekennzahl (Leckage/Badvolumen)	1

Abb. 7-10: Ermittlung der Leckagekennzahl für Hydraulikanlagen

Der komplette Hydraulikölinhalt geht somit einmal pro Jahr durch Leckagen verloren. Die ermittelte Rate entspricht dem Erfahrungswert anderer Unternehmen.

Von den 38 hydraulisch betriebenen Maschinen arbeiten derzeit 33 unter Einsatz von Emulsionen, bei denen Fremdöle nachteilige Auswirkungen auf die Emulsionsqualität und somit Standzeit haben. Das Augenmerk zur Verbesserung der Leckagesituation ist daher vor allem auf die Maschinen mit Emulsionseinsatz zu richten.

7.3 Untersuchung der Wasserqualität

Zum Anmischen der Kühlschmierstoffemulsion wird Leitungswasser verwendet. In Kap. 4.1.1 wurde bereits darauf hingewiesen, daß auch die Wasserqualität Einfluß auf die Badstandzeit hat. Aufgrund der großen Wasserhärte wird das Leitungswasser enthärtet, bevor es zur Anmischung der Emulsionen eingesetzt wird (Abb. 7-11). Bei der folgenden Prozeßwasser-Analyse handelt es sich um enthärtetes, nicht entsalztes Leitungswasser, das sowohl zur Neuanmischung als auch für Nachfüllungen verwendet wird.

Meßgröße	Einheit	Leitungswasser	Prozeßwasser
pH-Wert	–	7,2	7,1
Gesamthärte	mol/m^3 °dH	4,3 24,2	1,25 7,0
Elektr. Leitfähigkeit bei 25 °C	µS/cm	830,0	k. A.
Chlorid (Cl^-)	g/m^3	57,1	75,0
Sulfat (SO_4^{2-})	g/m^3	54,0	50,0
Natrium (Na^+)	g/m^3	15,8	k. A.
Nitrat (NO_3^-)	g/m^3	43,7	50,0
Nitrit (NO_2^-)	g/m^3	< 0,03	0,0

Abb. 7-11: Prozeßwasseranalysen im untersuchten Unternehmen

Teil C – Betriebsbezogene Vermeidungs- und Verwertungskonzepte

8 Bereits realisierte Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen

8.1 Standardisierung der Kühlschmierstoffe

Im Jahre 1990 konnte die Anzahl der eingesetzten wassermischbaren Kühlschmierstoffe auf 2 Typen verringert werden. So wird für Schleifvorgänge eine speziell für diesen Einsatz abgestimmte Emulsion eingesetzt. Alle übrigen Zerspanvorgänge mit Emulsionseinsatz (Bearbeitungszentren, Drehen, Fräsen, Bohren etc.) werden durch eine Schneidemulsion abgedeckt. Mit der Minimierung auf 2 Emulsionstypen konnte gleichzeitig eine Rationalisierung der Emulsionsversorgung erreicht werden.

Für beide Emulsionsarten wird bereits jetzt eine mehrmonatige Standzeit bei Einzelversorgung erreicht, die jedoch zu einem großen Teil durch den hohen Austrag und die dadurch bedingte Nachfüllung mit Frischemulsion bedingt ist.

Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe (KSS-Öle) werden lediglich beim Honen sowie beim Drehen auf den Ein- und Mehrspindeldrehautomaten eingesetzt.

Die im untersuchten Unternehmen eingesetzten Zerspanungsverfahren erlauben den vollständigen Verzicht auf chlorhaltige Kühlschmierstoffe.

8.2 Reduzierung von Verschleppungen

Im Bereich der Ein- und Mehrspindeldrehautomaten im Werk 1, die unter Einsatz von Schneidölen zerspanen, werden seit einiger Zeit alle Späne nach einer kurzen Abtropfzeit zentrifugiert. Dadurch werden die Ausschleppungen minimiert (vgl. Kap. 7.2.1.1). Durch die praktizierte Rückführung des Öles in den KSS-Kreislauf konnten sowohl die über Späne zu entsorgende Ölmenge als auch die einzusetzende Neuölmenge reduziert werden.

Eine Abschätzung der eingesparten Öl-Verschleppungen durch Abtropfen und Zentrifugieren ergibt eine Jahresmenge von ca. 35 m^3/a (vgl. Kap. 7.2.1.1).

8.3 Teilewaschanlage auf Wasserbasis

Durch die Umstellung im Jahre 1990 von CKW-Lösemitteln auf eine Teilewaschanlage mit wäßrig alkalischem Reiniger konnten die mit CKW-Lösemittel verbundenen Emissionen vollständig eliminiert werden. Ein Großteil der mit Emulsionen bearbeiteten Werkstücke wird erst nach Beendigung der Zerspanung gewaschen und konserviert. Hierdurch wird der Eintrag von KSS-Emulsionen in das Reinigungsbad auf ein Minimum beschränkt. Die Werkstücke werden nach jedem Arbeitsschritt abgeblasen.

Die Reinigungsemulsionen werden im Kreislauf geführt. Eingetragene Fremdöle werden durch eine integrierte Ultrafiltrationseinheit (UF) entfernt. Dadurch arbeitet die Anlage im Prinzip ab-

wasserfrei. Mit dem UF-Retentat fallen lediglich geringe Mengen an zu entsorgendem Ölschlamm an.

8.4 Kühlschmierstoffpflegemaßnahmen

8.4.1 Badstandzeiterhöhung durch Prozeßwasserbehandlung

Bei der Nachdosierung von Emulsionsbädern mit Frischwasser ist die eingesetzte Wasserqualität wegen der Aufkonzentration von schädlichen Stoffen (Salze, Nitrit und Schwermetalle) mitentscheidend für die Standzeit der KSS-Bäder. Aufgrund der großen Härte des Trinkwassers im untersuchten Unternehmen (vgl. Kap. 7.3) wird seit einigen Jahren das Trinkwasser enthärtet und teilweise entsalzt. Dies ist mit ein Grund für die derzeit bereits hohen Badstandzeiten.

8.4.2 Regelmäßige Reinigung von Emulsionsbädern

An den stark ausgelasteten Schleifmaschinen und Bearbeitungszentren wird zur Aufrechterhaltung der erforderlichen Kühlschmierstoffqualität, neben den wöchentlichen Tests und dem Nachfüllen verlorener Emulsionsmengen, eine weitere Maßnahme durchgeführt. In regelmäßigen Abständen (mindestens 1 ×/Woche) wird an diesen Maschinen eine fahrbare Zentrifuge angeschlossen, um die Emulsionen von Verunreinigungen (Schleifschlämme) und somit negativen Beeinträchtigungen der Zerspanungsleistung freizuhalten, wodurch sich die Badstandzeit mehr als verdreifachen läßt.

8.5 Verwendung von Trennblechen anstelle von Ölpapier

Für Transport und Zwischenlagerung werden die Werkstücke in Kisten gelegt. Um Beschädigungen zu vermeiden, werden die Werkstücklagen durch verzinkte Lochbleche voneinander getrennt. Hierdurch wird der Anfall der bisher zu entsorgenden Ölpapiere zum großen Teil vermieden.

9 Zukünftige Konzepte zur Vermeidung und Verwertung von Reststoffen

9.1 Ausgangslage

Die Auswertung der Abfallbegleitscheine bei der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) ermöglicht u. a. die Darstellung einer sogenannten Erzeugerstruktur, d. h. es kann festgestellt werden, wieviel Betriebe welchen Anteil am Abfall/Reststoffaufkommen haben. Demnach sind im Jahre 1990 bei insgesamt 3 090 Erzeugern 54 608 t Bohr- und Schleifölemulsionen (Abfallschlüssel 54402) angefallen. Neben einer überschaubaren Anzahl von Großerzeugern, die überwiegend große zentrale Versorgungsanlagen betreiben, weist die Erzeugerstruktur eine Vielzahl mittlerer und kleiner Betriebe auf. Am Beispiel des hier untersuchten Unternehmens wurde aufgezeigt, welche Maßnahmen zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von KSS-Abfällen, insbesondere bei dieser Firmengröße, möglich sind.

9.2 Maßnahmen zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung

Voraussetzung für die Beurteilung und die Entscheidung für bestimmte Maßnahmen ist die umfassende Kenntnis der im Betrieb eingesetzten Betriebsmittel sowie der anfallenden Abfallarten und -mengen. Die Abb. A-1 im Anhang zeigt dies beispielhaft für den betrachteten Unternehmensbereich für die Stoffgruppe der Kühlschmierstoffe.

Zur Betrachtung integrierter Umweltschutzmaßnahmen ist eine noch breitere Informationsbasis erforderlich, bei der alle Prozeßdaten in Form von Stoff- und Energiebilanzen zu erfassen sind. Die Betrachtung in Form einer Produktlinienanalyse geht sogar so weit, daß alle Vor- und Folgestufen des Produkts bis zu seiner Entsorgung analysiert werden. Dabei werden die Material- und Energieeinsätze auf ihre Umweltverträglichkeit und fertigungstechnische Notwendigkeit untersucht. Unter dem Aspekt der grundsätzlichen Abfallvermeidung sind geschlossene Stoffkreisläufe auch für Betriebsstoffe erstrebenswert. Bei Kühlschmierstoffen, insbesondere bei wassermischbaren, ist dies jedoch kaum realisierbar und unter Einbeziehung arbeitshygienischer Aspekte (Aufkonzentration von Schadstoffen) sind „unendliche" Standzeiten nicht anzustreben.

Im folgenden werden verfahrenstechnische, organisatorische und stoffliche Maßnahmen zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von KSS-Abfällen nach Priorität gestaffelt aufgelistet:

Einsatz abfallarmer Produktionsverfahren
- Verzicht auf KSS
- Reduzierung der Einsatzmengen

Vereinheitlichung der eingesetzten KSS
- Optimierung bezüglich Einsatz, Arbeitshygiene, Pflege und Überwachung sowie der Aufarbeitung
- Vereinfachung und Transparenz der Stoffwirtschaft

Verlängerung von Badstandzeiten durch Pflege und Überwachung
- Reduzierung der einzusetzenden Konzentratmengen
- Reduzierung der Abfallmengen

Einsatz von zentralen Versorgungsanlagen
- Optimierung von Badpflege, Überwachung und Aufarbeitung
- Verlängerung der Badstandzeiten

Verminderung von Fremdöl- und Fremdstoffeinträgen
- Verlängerung der Badstandzeiten
- Reduzierung der erforderlichen Nachdosiermengen (Hydrauliköle)

Personalschulung und -information
- Motivation der Mitarbeiter
- Verlängerung der Badstandzeiten durch bessere Badpflege

Recyclingmaßnahmen: Abtrennung und Rückführung der durch Späne und Werkstücke ausgetragenen KSS
- Reduzierung der nachzudosierenden Mengen
- Reduzierung des Fremdstoffeintrages in nachfolgende Prozesse
- Verbesserung der Verwertungsmöglichkeiten von Spänen und Schleifschlämmen

Verringerung der zu entsorgenden Reststoffmengen
- Aufkonzentration von Emulsionen
- Verwertung statt Entsorgung

Einsatz von Kühlschmierstoffen mit guten Korrosionsschutzeigenschaften
- Einsparung von Wascharbeitsgängen

Abb. 9-1: Übersicht der wesentlichen verfahrenstechnischen, organisatorischen und stofflichen Maßnahmen zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von KSS-Reststoffen/-Abfällen

Die Reihenfolge richtet sich nach der zu erwartenden Wirksamkeit der Maßnahmen hinsichtlich Vermeidungs- und Verwertungspotential. Die Realisierbarkeit ist jeweils hinsichtlich technischer Machbarkeit und wirtschaftlicher Zumutbarkeit zu überprüfen. Die Maßnahmen werden in den Kapiteln 9.3.1 bis 9.3.9 beschrieben.

9.2.1 Wassermischbare und nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe

Wegen der grundsätzlich unterschiedlichen chemischen Eigenschaften sind Maßnahmen und Prioritäten für wassermischbare KSS und nichtwassermischbare KSS getrennt zu betrachten.

Bei den wassermischbaren Kühlschmierstoffen (Emulsionen und Lösungen) sind Fremdeinflüsse die maßgeblichen Faktoren für die erreichbare Badstandzeit. Verhinderung von Fremdstoffeinträgen (Fremdöle, Schmutz, Abrieb) bzw. deren Entfernung sowie die regelmäßige Überwachung und Pflege der Bäder stehen daher im Vordergrund.

Die Zusammenfassung von einzelversorgten Anlagen zu zentral versorgten Anlagen bietet eine gute Basis zur wirtschaftlichen Realisierung standzeitverlängernder Pflege- und Überwachungsmaßnahmen.

Durch den Einsatz einer Emulsionsspaltanlage (siehe Kapitel 2.5.2) kann das Volumen der zu entsorgenden Altemulsion drastisch verringert werden. Die abgetrennte Wasserphase ist ggf. wieder als Prozeßwasser einsetzbar. Der wirtschaftliche Einsatz einer Emulsionsspaltanlage ist im wesentlichen abhängig von der örtlichen Entsorgungssituation sowie der aufzubereitenden Altemulsionsmenge.

Bei den **nichtwassermischbaren Kühlschmierstoffen** (KSS-Öle) spielt die Standzeit nur eine untergeordnete Rolle. Wirksame Maßnahmen zum Recycling von ausgeschleppten KSS-Ölen haben dagegen ein wesentlich höheres Vermeidungspotential.

Durch gezieltes Abtropfen von Spänen und Werkstücken sowie Zentrifugieren vorzugsweise der Späne lassen sich erhebliche KSS-Ölmengen zurückführen.

9.3 Maßnahmen zur Reststoffvermeidung oder -verminderung

In den nachfolgenden Abschnitten werden verfahrenstechnische, organisatorische und stoffliche Maßnahmen zur Vermeidung, Verringerung und Verwertung von KSS-Reststoffen/Abfällen beschrieben.

9.3.1 Einsatz abfallarmer Produktionsverfahren

Die im untersuchten Betrieb verwendeten Werkstoffe und die eingesetzten Produktionsanlagen lassen einen generellen Verzicht auf Kühlschmierstoffe nicht zu. Durch den Einsatz hochwertiger Zerspanungstechnologien ist die Menge der erforderlichen Kühlschmierstoffe deutlich zu verringern (siehe Kapitel 4.1.3).

9.3.2 Vereinheitlichung der eingesetzten Kühlschmierstoffe

Das Abfallgesetz verlangt die getrennte Sammlung der anfallenden Reststoffarten. Hiermit soll die stoffliche Verwertung der Abfälle gefördert bzw. eine abfallartenspezifische Entsorgung ermöglicht werden. Für den Reststofferzeuger führt dies bei den Entsorgungskosten u. U. zu Einsparungen durch eine niedrigere Eingruppierung einzelner Reststoffkomponenten (gem. LAbfAG).

Zur Verringerung des Aufwandes zur Entsorgungslogistik (Behälter, Transport) ist die Reduzierung der einzusetzenden Arbeitsstoffe zu prüfen.

Daher kann es durchaus wirtschaftlicher sein, auch für einfache Zerspanungsanforderungen hochwertige KSS zu verwenden, um die Vielfalt der Abfallarten und damit die Entsorgungskosten zu verringern. Zudem lassen sich durch eine Reduzierung der Anzahl der eingesetzten KSS Zentralanlagen einrichten, wodurch die Standzeit deutlich verbessert werden kann.

9.3.3 Verlängerung der Badstandzeiten durch Pflege und Überwachung

Ziel der Pflegemaßnahmen muß es sein, möglichst hohe Badstandzeiten bei gleichzeitig geringem Austrag an Kühlschmierstoffen und ausreichenden Stoffeigenschaften zu erreichen, ohne dabei die Anforderungen an die Arbeitshygiene außer acht zu lassen.

Ansatz und Auffrischung von Emulsionen

Die Mischeinrichtungen für Frischemulsionen müssen sowohl die entsprechende Wirkstoffkonzentration einstellen (Dosiergeräte) als auch die gewünschte Tröpfchengröße und Tröpfchengrößenverteilung gewährleisten. Anmischregeln sind oft produktspezifisch. Dabei sind die Herstellerangaben unbedingt zu beachten.

Bei der Nachdosierung der Bäder mit Wasser ist die verwendete Wasserqualität wegen der Aufkonzentration verschiedenener Schadstoffe von großer Bedeutung für die Standzeit der KSS-Bäder. Hier bietet sich wie bisher der Einsatz von entmineralisiertem, vollentsalztem Wasser sowie künftig auch von kondensiertem Wasser aus der Emulsionsspaltanlage (vergl. Kapitel 9.4) an.

Überwachung der Badqualität

Im betrachteten Unternehmen werden die KSS-Bäder nach bestimmten Zeitabständen verworfen. Durch regelmäßige Kontrolle der wichtigsten Badparameter läßt sich eine Verschlechterung der Badqualität frühzeitig erkennen, so daß mit entsprechenden Maßnahmen gegengesteuert werden kann. Die wichtigsten Badparameter, deren Prüfverfahren sowie die Prüfintervalle sind in Abb. 4-4 aufgeführt. Auch bei Emulsionen sollte eine Ausnutzung der Badeigenschaften solange wie möglich durchgeführt werden, ohne dabei die Aspekte der Arbeitshygiene außer acht zu lassen.

Es wird empfohlen, vor dem bisherigen jährlichen Hydraulikölwechsel zu prüfen, ob die Öle noch weiter verwendet werden können. Eine Neubefüllung der Bäder sollte dann nur bei unzureichenden Prüfergebnissen erfolgen. Ansonsten ist der Badinhalt zu ergänzen und wiederzuverwenden. Einsatz- und Entsorgungsmengen der Hydrauliköle lassen sich so reduzieren. Der Einfluß der Badstandzeit auf die jährlichen Beschaffungs- und Entsorgungskosten ist in Abb. A-2 im Anhang dargestellt.

9.3.4 Einsatz von zentralen Versorgungsanlagen

Maschinen mit gleicher oder ähnlicher Zerspanaufgabe sind zu Maschinengruppen zusammenzufassen und zentral mit Kühlschmiermitteln zu versorgen. Vorteilhaft hierbei ist, daß

- Investitionen für Bad- und Systempflege zentral und nicht für jede Maschine erforderlich sind,
- Zentralanlagen wegen ihrem größeren Badvolumen weniger empfindlich auf Störeinflüsse reagieren,
- sich mit einer insgesamt weniger aufwendigen Badüberwachung derzeit eine Standzeiterhöhung auf bis zu zwei Jahre erzielen läßt.

Im untersuchten Unternehmen kommen vom Grundsatz her 2 Maschinengruppen im Werk 2 für Zentralanlagen in Frage:

Gruppe 1: 6 Bearbeitungszentren und 15 CNC-Drehautomaten unter Verwendung derselben KSS-Bohremulsion. Die Werkstoffe sind im wesentlichen Guß und Ck45. Derzeitiger

gesamter Badinhalt ca. 8 m^3, durchschnittlich ca. 400 Liter pro Maschine. Die Druckstufen der meisten Maschinen liegen bei 2 bar und gehen bis 50 bar bei den Bearbeitungszentren. Der KSS-Umlauf liegt insgesamt bei ca. 5 m^3/min.

Gruppe 2: 10 Schleifmaschinen unter Einsatz derselben Schleifemulsion. Geschliffen werden nur gehärtete Teile. Der KSS-Druck beträgt jeweils 2 bar. Das derzeitige Gesamtbehältervolumen der Maschinen beträgt ca. 1,9 m^3, im Durchschnitt also 190 Liter pro Maschine. Der KSS-Umlauf liegt insgesamt bei ca. 900 l/min.

Voraussetzung für die Installation von Zentralanlagen sind aufgrund fehlender Unterkellerung Rückpumpstationen an den Zerspanmaschinen. Über Niveauregulierung ist die Versorgung einzelner Maschinen sicherzustellen.

Anlagenkonzepte zur zentralen Versorgung und Behandlung

Die in den obigen Unterkapiteln aufgezeigten Versorgungs- und Behandlungsmöglichkeiten für Kühlschmierstoffe können in verallgemeinerter Form dargestellt werden. Eine Darstellung dieser Zusammenhänge für KSS-Öle und -Emulsionen zeigen die Abbildungen 9-2 und 9-3 /11/. Auf einzelne Einrichtungen zur Kühlschmierstoffpflege wird in Kapitel 2.4 eingegangen.

Beschreibung der Zentralanlage für KSS-Öle (Abb. 9-2)

Nach dem Zerspanvorgang (1) werden die Werkstücke durch Abblasen von den Spänen gesäubert, abgetropft und evt. zentrifugiert (2) wenn die Werkstückabmaße dies erlauben. Die KSS-Öle werden der Zentralanlage über einen vorgeschalteten Filter zugeleitet. Die verölten Späne aus (1) und (2) werden einem Behälter zugeführt, dort abgetropft und zentrifugiert und die KSS-Öle über einen Filter ebenfalls der Zentralanlage zugeleitet. Die gereinigten Späne werden durch Verhüttung verwertet. Die verschmutzten KSS-Öle werden in der Zentralanlage im Kreislauf in Filtereinrichtungen gereinigt und dann der Zerspanung wieder zugeführt. Das in dem Filter der Zentralanlage sich ansammelnde Filtrat muß entsorgt werden.

Beschreibung der Zentralanlage für KSS- und Waschemulsionen (Abb. 9-3)

Nach dem Zerspanvorgang (1) mit Hilfe von Kühlschmierstoffemulsionen werden die verschmutzten Werkstücke der Waschanlage (2) zugeleitet. Die Späne fallen in die Spänebehälter. In der Waschanlage werden die Werkstücke durch Waschemulsionen gereinigt und konserviert. Die verbrauchten Emulsionen aus (1) und (2) werden in Ultrafiltrationsanlagen aufbereitet, die Permeate (Wasserphasen mit Verunreinigungen) durch Flockung oder Neutralisation nachbehandelt und das gereinigte Wasser in die Kanalisation geleitet. Die Retentate (Ölphasen mit Wasseranteilen) werden durch Verdampfungsstufen geführt. Die entwässerte Ölphase wird durch Verbrennung entsorgt, die Wasserphase über die Aufbereitungs- und Wasserbehandlungsstufe gereinigt.

Die KSS-Emulsionen werden in der Zentralanlage im Kreislauf in Filtereinrichtungen gereinigt und der Zerspanung wieder zugeführt. Das in dem Filter der Zentralanlage sich ansammelnde Filtrat muß entsorgt werden. Die aufbereitbare Waschemulsion wird durch eine Ultrafiltrationsstufe mit nachgeschaltetem Separator geführt und danach aufbereitet der Zentralanlage für die Waschemulsionsversorgung zugeleitet. Die Waschemulsion selbst wird in der Zentralanlage über eine Filtereinheit zur Versorgung im Kreislauf geführt. Das verbrauchte Filtrat wird gemeinsam mit der Ölphase des Retentats entsorgt. Sowohl die Zerspan- als auch die Waschanlage sind an Versorgungseinheiten (VA-Anlage) für KSS- (1) bzw. Wachemulsionen (2) angeschlossen. Die Reststoffe (Späne, Öle etc.) aus (1) und (2) siehe auch Abbildung 3-1.

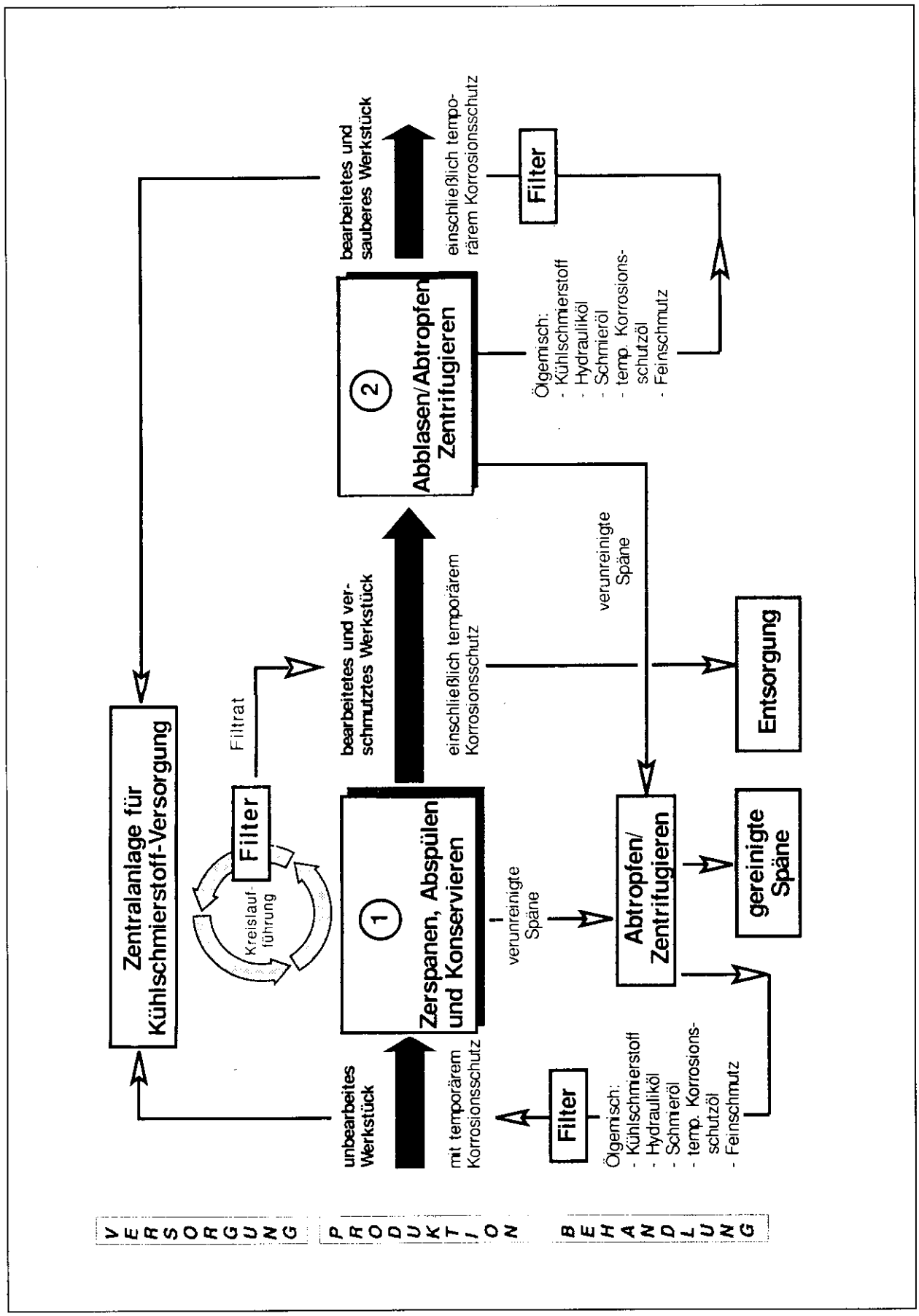


Abb. 9-2: Versorgungs- und Behandlungskonzept für Kühlschmierstoff-Öle /11/

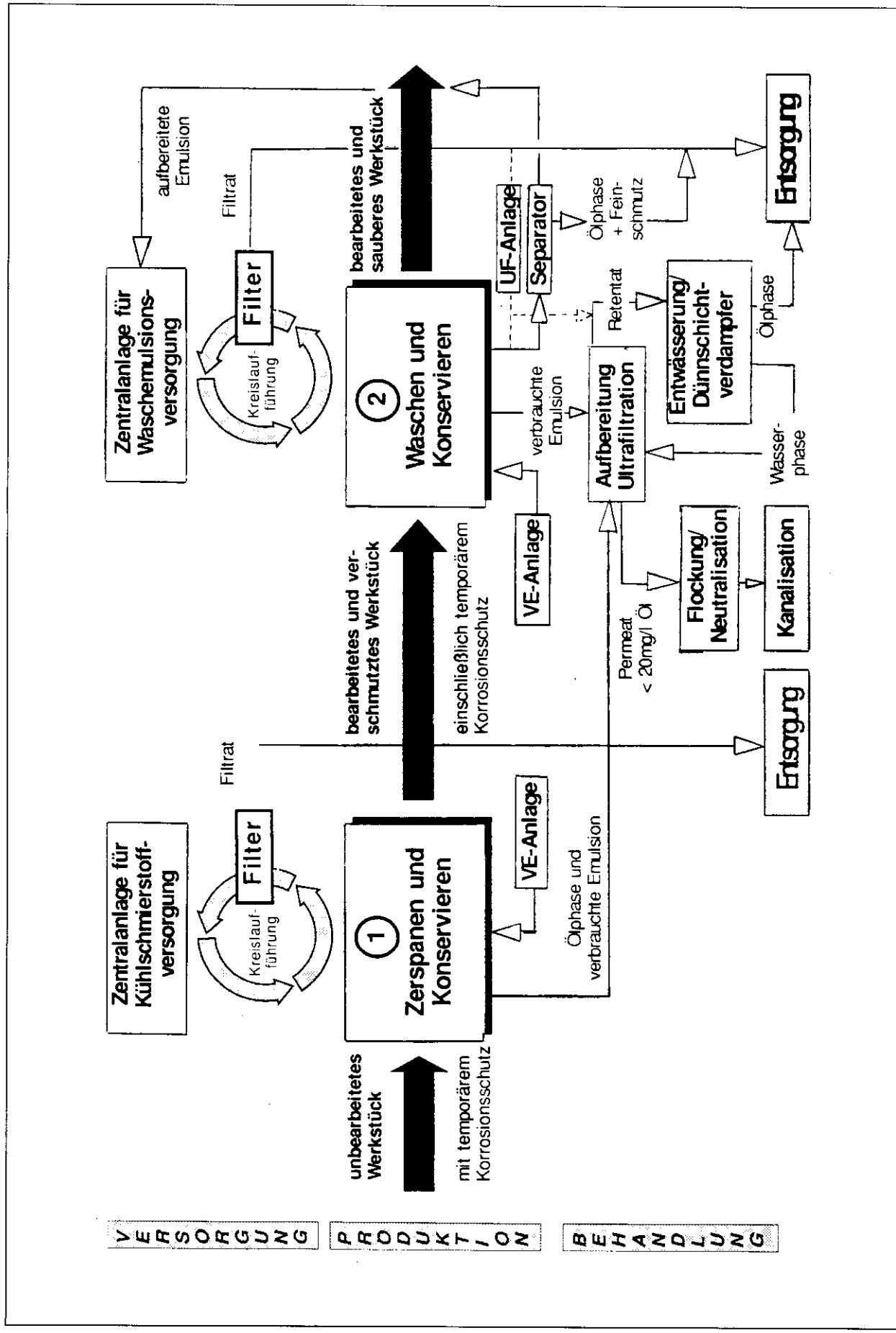


Abb. 9-3: Versorgungs- und Behandlungskonzept für Kühlschmierstoff- und Waschemulsionen

9.3.5 Verminderung von Fremdöl- und Fremdstoffeinträgen

Eingeschleppte Verunreinigungen sind die Hauptursache für vorzeitige Gebrauchsunfähigkeit von KSS-Bädern, insbesondere von KSS-Emulsionen. Durch Schmutzeintrag wird die Stabilität der Emulsionen beeinträchtigt und vor allem eingeschleppte Fremdöle führen zu einem beschleunigten Keimwachstum.

Verminderung von Leckagen

An den Zerspanmaschinen des untersuchten Unternehmens ist derzeit jährlich eine Systemfüllung an Hydraulik- und Schmierölen nachzufüllen, wobei erfahrungsgemäß ca. 80 % durch Leckagen verursacht werden. Dieser Anteil muß durch erhöhten Wartungsaufwand sowie insbesondere konstruktive Maßnahmen an den Maschinen deutlich verringert werden. Ein Lösungsansatz ist die Verwendung leckagearmer Dichtungen.

Die Verbrauchsmenge von Bettbahnölen kann durch eine weitere Reduzierung der Reibungsverluste an den bewegten Teilen der Maschinen optimiert werden. Hierfür bietet sich z. B. der Einsatz von Bettbahnen aus Kunststoff an.

Die aufgezeigten Lösungsansätze erfordern die Einbindung der Maschinenhersteller.

In jedem Fall sollte das Gesamtsystem Kühlschmierstoff – Hydrauliköl – Bettbahnöl aufeinander abgestimmt sein. Nicht einemulgierende Fremdöle können durch den Einsatz von Öl-Skimmern zumindest nachträglich entfernt werden. Die Verminderung der eingeschleppten Verunreinigungen bedeutet Verlängerung der Badstandzeiten und die Reduzierung der nachzudosierenden sowie der zu entsorgenden Mengen.

9.3.6 Personalschulung und Information

Die genaue Kenntnis der im Betrieb eingesetzten Kühlschmierstoffe ist eine Grundvoraussetzung für den richtigen Umgang sowie die geeigneten Pflegemaßnahmen, um optimale Einsatzbedingungen bei langer Nutzungsdauer zu realisieren. Für den Bereich KSS sollte ein Mitarbeiter beauftragt werden, der für die Informationsbeschaffung, die Information und Schulung der mit KSS arbeitenden Werker sowie den gesamten Bereich der Badkontrolle, Badpflege und der Entsorgung/Verwertung verantwortlich ist. An dieser Stelle sind zentral alle Informationen, wie Sicherheitsdatenblätter, Gebrauchs- und Pflegeanweisungen der Hersteller, Daten der Badüberwachung sowie Einsatz- und Entsorgungsmengen zu erfassen.

Mit den Instrumenten der Information und Motivation der Mitarbeiter läßt sich oft ein vorzeitig erforderlicher Badverwurf verhindern. Auch bezüglich der Arbeitshygiene ist die umfassende Information aller mit KSS arbeitenden Werker eine wichtige Maßnahme zur Vermeidung von Erkrankungen.

9.3.7 Recyclingmaßnahmen: Abtrennung und Rückführung der durch Späne und Werkstücke ausgetragenen KSS

Der Austrag von Kühlschmierstoffen durch Späne und Werkstücke ist prozeßbedingt und läßt sich nicht vollständig vermeiden. Die in Kapitel 7 abgeschätzten Verschleppungen lassen sich durch verfügbare Maßnahmen wie ausreichendes Abtropfen, Abblasen oder Zentrifugieren vermindern. Welche Maßnahme am sinnvollsten eingesetzt wird, hängt vom Kühlschmierstoff, vom verarbeiteten Werkstoff (Oberflächenbeschaffenheit der Späne), dem Zerspanverfahren (Spanform) und der Werkstückgröße und -qualität (Handhabung, Vermeidung von Beschädigung) ab.

Durch konsequente Abtrennung und Rückführung lassen sich in folgenden Bereichen Einsparungen sowie Verbesserungen auf der Reststoffseite erzielen:

- Reduzierung der nachzufüllenden KSS-Mengen
- Reduzierung des Fremdstoffeintrags in nachfolgende Prozesse
- Verbesserung der Verwertungsmöglichkeiten von Spänen und Schleifschlämmen.

Verschleppung durch Werkstücke

Bei den Werkstücken lassen sich erhebliche Anteile bereits durch ausreichend lange Abtropfzeiten (> 1h) zurückgewinnen. Schleudern ist vorwiegend bei kleineren und unempfindlichen Massenteilen empfehlenswert. Abblaseverfahren sind u. a. bei schöpfenden Teilen, die nicht gedreht werden können, vorteilhaft und zeichnen sich durch kurze Verweilzeiten aus. Problematiken wie Lärmentwicklung und KSS-Aerosolbildung sind durch am Markt verfügbare Anlagen lösbar. Die abgetrennten KSS lassen sich im allgemeinen problemlos dem KSS-Bad wieder zuführen.

Verschleppung durch Späne

Welche Mengen an KSS auch durch Späne ausgetragen werden und wie wirkungsvoll Spänezentrifugen arbeiten, wurde bereits in Kapitel 7 ausgeführt. Die separierten KSS werden, ggf. über Filter, direkt wieder dem KSS-Bad zugeführt. Während das Schleudern oder Zentrifugieren von Spänen beim Einsatz von Bearbeitungsölen hoch rentabel und daher weitverbreitet ist (vergleiche Abb. 7-5), können bei Emulsionen Probleme durch Verunreinigung (anhaftende Fremdöle) und bei zu langer Verweilzeit schon erfolgte Reaktionen an der hohen spezifischen und sehr reaktiven Metalloberfläche auftreten.

Spritzverluste

Die Spritzverluste sind vorwiegend von der Bearbeitungsgeschwindigkeit sowie von der Art der KSS-Zuführung (Druck, Zuführungsstelle) abhängig. Sie können nahezu 100 %ig durch Spritzschutzwände oder Arbeitsraumkapselungen vermieden werden.

9.3.8 Verringerung der zu entsorgenden Reststoffmengen

Im Unternehmen fallen hauptsächlich verbrauchte Emulsionen zur Entsorgung an. Hinzu kommen Filtervliese aus der KSS-Reinigung sowie mit KSS behaftete Späne.

9.3.8.1 Spaltung von Emulsionen

Der Hauptanteil der zu entsorgenden Abfälle sind etwa 100 m^3/a verbrauchte Altemulsion. Um diese Menge erheblich zu reduzieren, bietet sich die Abtrennung der Wasseranteile an. Auf mögliche und geeignete Emulsionsspaltverfahren wird ausführlich in Kap. 2.5.2 eingegangen. Bei den nachfolgend vorgeschlagenen Spaltverfahren erhält man eine Wasser- und eine Ölphase, die gezielter verwertet bzw. entsorgt werden kann. In bezug auf die problematischen Ölanteile wird somit eine Verringerung der Abfallmenge erreicht. Bei der Emulsionsspaltung ist auch die Qualität des abgetrennten Wassers und damit innerbetriebliche Wiedereinsatzmöglichkeiten zu beachten.

Ultrafiltration

Mit Hilfe der Ultrafiltration (UF) läßt sich der Wasseranteil in der KSS-Emulsion um ca. 40 bis 60 % reduzieren. Vor der Ultrafiltration kann eine Zugabe von Wasserstoffperoxid als Flotationshilfsmittel hilfreich sein. Das Aufschwimmen von Fremdölen wird verbessert und die Gefahr der Verstopfung der UF-Membrane verringert. Als Vorkehrung beim Membranriß hat sich der Einsatz von sogenannten Trübungswächtern bewährt.

Verdampfung der Wasseranteile durch Eindampfverfahren

Auf die möglichen Techniken zur Eindampfung von Emulsionen wird bereits in Abschnitt 2.5.2 eingegangen.

Verdampfungsverfahren können sowohl in Kombination mit einer vorgeschalteten UF-Anlage oder als alleinige Behandlung eingesetzt werden. Der anfängliche Wassergehalt von über 90 % kann durch Wasserverdampfung bis auf ca. 10 % verringert werden. Das Konzentrat kann dann gegebenenfalls als Altöl einer gezielten Verwertung oder Entsorgung zugeführt werden. Durch Rückgewinnung der Kondensatwärme ist eine energiesparende Verdampfung möglich. Eine nutzbare Abwärmequelle steht im betrachteten Unternehmen nicht zur Verfügung.

Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens ist die Möglichkeit des Wiedereinsatzes des Kondensats zum Ansatz frischer Emulsionen. Gegebenenfalls müssen Restverunreingungen, z. B. durch einen Aktivkohlefilter, entfernt werden. Für diese Menge entfällt die Enthärtung und Teilentsalzung des ansonsten zu verwendenden Trinkwassers.

9.3.8.2 Einsatz verwertbarer Kühlschmierstoffe

Beim Einsatz geeigneter Emulsionspaltverfahren (Ultrafiltration, organische Spaltung und Verdampfungsverfahren) kann bei Kühlschmierstoffen auf Mineralölbasis die gewonnene Ölphase gegebenenfalls durch Zweitraffinationen aufgearbeitet und damit wiederverwertet werden. Voraussetzung ist der Einsatz chlorfreier Produkte.

KSS auf pflanzlicher Basis haben sich bereits in der Praxis bewährt und stellen somit eine Zukunftsalternative dar. Bei diesem System ist eine stoffliche Wiederverwertung von verbrauchten Emulsionen bzw. Ölen grundsätzlich möglich. Ein Verfahren wird derzeit im großtechnischen Maßstab umgesetzt (siehe Kapitel 2.2.3). Voraussetzung für eine Wiederverwertung ist jedoch eine vollständige Umstellung der Hydraulik- und Bettbahnöle auf pflanzliche Basis, da diese in die KSS-Bäder eingeschleppt werden.

9.3.9 Einsatz von Kühlschmierstoffen mit guten Korrosionsschutzeigenschaften

Wascharbeitsgänge stehen in enger Verbindung zu den vorangehenden Zerspanvorgängen und sind daher generell in die Betrachtungen miteinzubeziehen. Ziel ist es, die Waschbäder von Einschleppungen durch Kühlschmierstoffe und Verschmutzungen spürbar zu entlasten, wie dies bereits jetzt erfolgt (s. Kap. 8.2. und 8.3), oder den Waschvorgang gänzlich einzusparen.

Durch Wäsche mit alkalischen Reinigern kann eine Korrosionsschutzzeit von 6 bis 8 Wochen erzielt werden. Nach Erfahrungen anderer Unternehmen wird beim Überfluten der Werkstücke mit Kühlschmierstoffemulsion zur Entfernung von Spänen und Verunreinigungen ein temporärer Korrosionsschutz von ca. 6 Monaten bei Stahl- und ca. 3 Monaten bei Gußteilen erreicht,

was im allgemeinen vollkommen ausreicht. Voraussetzung hierfür ist eine regelmäßige Überwachung der Badparameter.

Einbindung der Waschanlage in das Entsorgungskonzept

Bei der Zerspanung mit Kühlschmierstoffen kann nach dem derzeitigen Stand der Technik nicht vollständig auf Wascharbeitsgänge verzichtet werden. Daher werden weiterhin gebrauchte Waschemulsionen zu entsorgen sein. Bei Waschanlagen auf Emulsionsbasis sollte die Vorbehandlung vor Abgabe an den Entsorger (z. B. Ultrafiltration, Aufkonzentration durch Wasserverdampfung) künftig zusammen mit den KSS-Emulsionen erfolgen. Dabei ist sicherzustellen, daß eine Verwertung der Ölphase aus der Emulsionsspaltung nicht beeinträchtigt wird. Im untersuchten Unternehmen wird die gemeinsame Behandlung dadurch erschwert, daß die Waschemulsion in einem anderen Werk als die Hauptmenge der Altemulsionen anfällt.

Alternativen zur Vermeidung und Verminderung von Sonderabfällen	mögliche Basis für KSS	Mineralöl			Mineralöl			Pflanzen- und Mineralöle				Pflanzenöl			
									Mineralöl						
		KSS-Öl	Hydrauliköl	Bettbahnöl	KSS-Emulsion	Hydrauliköl	Bettbahnöl	KSS-Emulsion	Pflanzenöl	Hydrauliköl	Bettbahnöl	KSS-Emulsion	Hydrauliköl	Bettbahnöl	Waschanlage
Abfallvermeidung oder -verminderung	KSS-Einzelmaschinenversorgung geeigneter KSS-Versorgungsbehälter und Badpflegemaßnahmen; Standzeit ≥ 0,5 Jahre	+			– 1-4 Wo.			-				⊕			
	Zentrale oder Maschinengruppenversorgung; Standzeit über Jahre				+			⊕				⊕			
	KSS-Rückgewinnung aus Späneverschleppungen mit Zentrifuge	+			–			–				⊕			
	Hydraulikölverluste durch Leckagen, eine Füllung pro Jahr, durch Wartung von Dichtungen		o/+			o/+				o/+			o/+		
	Wiederverwendung des eingemischten oder aufschwimmenden Leckageöl von der Hydraulik und Bettbahn auf dem KSS-Versorgungsbad		+	+		–	–			–	–		–	–	
	bei geeigneten Werkstücken und Werkstückanordnungen •KSS-Verschleppungen auf den Werkstückoberflächen rückführen (Abblasen, Zentrifugieren, Rhönrad)	+			+			+				+			
	•Einsparung von Wascharbeitsgängen durch Abspülen der Späne mit KSS von den Werkstückoberflächen und Rückgewinnung der KSS-Verschleppungen von den Werkstückoberflächen (Abblasen, Zentrifugieren, Rhönrad)	o/+			+			+				+			
	•Temporärer Korrosionsschutz durch KSS über ca. 6 Monate Innenlagerung	+			+			⊕				⊕			
	Badstandzeit der Waschbäder auf ≥ 0,5 Jahre erhöhen (geeignete Badvorratsbehälter, Chemikaliendosierung, Zentrifuge oder Ultrafiltration, Filtration)														+
	neue konstruktive Entwicklungen bei Hydraulikdichtungen und Bettbahnen (Kunststoffbahnen) zur Reduzierung von Leckageölen		⊕	⊕		⊕	⊕			⊕	⊕		⊕	⊕	
Stoffliche Wiederverwertung	Aufbereitung der KSS-Abfälle z.B. zu Seifen, Ziehmittel, Trennmittel • Verbrauchte KSS-Bäder • aus Spänen zentrifugierte KSS • auf KSS Bädern aufschwimmende Leckageöle von Hydraulik und Bettbahnen				–	–	–	–		–	–	+	+	+	
	Aufbereitung als Raffinate	+	+	+											
Entsorgung	Wassergehalt der zu entsorgenden Emulsionen auf ca. 10% reduzieren				+	+	+	+		+	+				+

Legende:
- nicht zu bewertende Kriterien
- ⊕ Entwicklung und Forschungsthemen, technisch denkbar
- + technisch möglich
- o bedingt technisch realisierbar
- - nicht erfüllbar

Abb. 9-4: Vergleich derzeitiger und zukünftiger Vermeidungs-, Verminderungs- und Verwertungsmaßnahmen für KSS auf pflanzlicher und Mineralölbasis /11/

10 Abschätzung des wirtschaftlichen Umstellungsaufwands

Zukünftig werden durch Politik und Wissenschaft offensive Handlungsstrategien von den Unternehmen gefordert, d. h. hier soll nicht abgewartet werden, bis der Gesetzgeber Umweltschutz über Auflagen und andere Restriktionen einfordert. Durch offensive Konzepte zum Umweltschutz /12/ gelingt es den Unternehmen, zukünftig Wettbewerbsvorteile zu erarbeiten und ein positives Erscheinungsbild in der Öffentlichkeit zu erlangen.

Für eine grobe Abschätzung des Investitionspotentials für Maßnahmen an Produktionsanlagen wird die Kostenerfassung in Kapitel 10.2 auf die Einsparungen hinsichtlich der geringeren Beschaffungsmengen für Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe sowie die reduzierten und zur Entsorgung anstehenden Abfallmengen beschränkt. In der Praxis zeigt sich, daß eine Erhöhung der Herstellkosten für die Produkte in der Regel vermieden werden kann.

Entsprechend den Erfahrungen einiger Unternehmen mit zerspanender Fertigung ergeben sich beim Betrieb von KSS-Zentralanlagen folgende Kostenparameter:

- Kostenkennzahl: 1 000–2 000 DM/m^3 Systemfüllung pro Jahr für Zentralanlagen mit KSS-Emulsionen
- Leckagekennzahl: ca. 1,0, d. h. derzeit mindestens eine zusätzliche Hydraulikölauffüllung pro Jahr
- Betriebskennzahl: Investitionen für Zerspantechnik zu Ver- und Entsorgungstechnik ca. 1:1

10.1 Kostenerfassung im untersuchten Unternehmen

Im Rahmen der IST-Zustandsaufnahme im untersuchten Unternehmen wurden die derzeitigen Kosten für die Beschaffung der Arbeitsstoffe, die Instandhaltung sowie die Entsorgung der Abfälle aufgeschlüsselt, um einen Überblick über die derzeitigen Betriebskosten zu erhalten (siehe **Abb. A-1** im Anhang). Durch die hier mögliche Einsparung wird der Investitionsrahmen für anlagentechnische Maßnahmen im untersuchten Bereich vorgegeben.

Es zeigt sich, daß in der untersuchten Fertigung unter Einbeziehung der Sonderabfallabgabe ca. 50 000,00 DM an Entsorgungskosten für die betrachteten Reststoffe (vgl. Kap. 7.1) anfallen (ohne Spänevergütung). Davon entfallen über 10 000,00 DM auf die Sonderabfallabgabe des Landes Baden-Württemberg.

Durch die Rückgabe der Späne werden Erträge von ca. 7 000,00 DM erzielt (mit „–" gekennzeichnet). Im Rahmen dieser Kostenerfassung sind die Kostenanteile für die Waschanlage enthalten, welche jedoch noch nicht endgültig quantifizierbar sind.

Voraussetzung für eine Kostendarstellung ist die detaillierte Erfassung anlagentechnischer Parameter von Maschinen mit Einzelversorgung einschließlich der vorhandenen Peripherie. Zur besseren Übersicht wurden zusätzlich Kennzahlen für den betrachteten Maschinenpark ermittelt.

Die **Abb. A-2** des Anhanges zeigt die Kosten für die Beschaffung und Entsorgung im untersuchten Unternehmen in Abhängigkeit der Badstandzeit. Hieraus lassen sich die durch Verlängerung der Badstandzeit möglichen Einsparungen abschätzen.

Die Gesamtkosten für Beschaffung als auch zur Entsorgung lassen sich bei Badstandzeiten bis zu etwa einem Jahr stark senken. Bei noch längeren Badstandzeiten werden dagegen keine wesentlichen Kosteneinsparungen mehr erzielt.

Die Differenz zwischen Beschaffungs- und Entsorgungskosten nimmt mit zunehmender Standzeit zu. Dies ist bedingt durch die nicht ganz vermeidbaren Antragsverluste durch Werkstücke und Späne.

In **Abb. A-3** des Anhanges ist dargestellt, wie sich die durch Ölverschleppung mit Spänen verursachten Kosten durch Rückgewinnungsmaßnahmen reduzieren lassen.

Durch Maßnahmen wie Abtropfen und Zentrifugieren erhöht sich der Rückgewinnungsgrad. Durch Reduzierung der erforderlichen Nachfüllmengen werden Einsparungen erzielt.

10.2 Beispielhafte Kostenbetrachtung

Methodik

Nachfolgende Kostenbetrachtung zeigt die Methodik für ein entsprechendes Vorgehen im individuellen Betrieb auf. Die eingesetzten Zahlenwerte sind Schätzungen. Eine Verwendbarkeit als Vorgehensmuster ist dennoch gegeben, weil die Kostenbetrachtung normiert auf 1 m^3 Systeminhalt vorgenommen wird.

Systembetrachtung

Die folgende **Abbildung 10-1** zeigt die Systembetrachtung, d. h. den Bilanzraum.

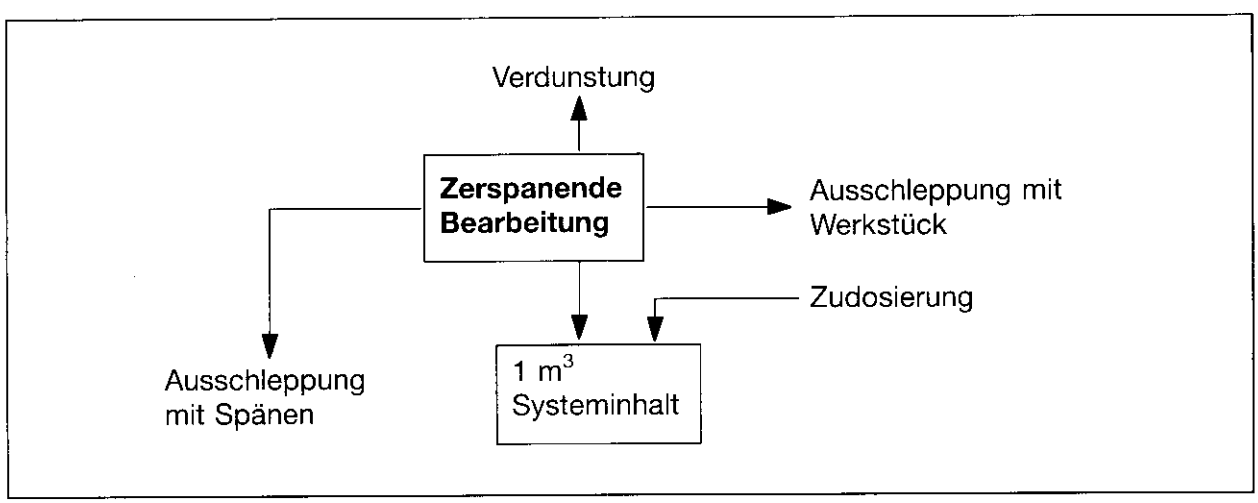


Abbildung 10-1: Systemabgrenzung bei der Kostenbetrachtung /11/

Annahmen

- Die Summe aus Verdunstungs- und Verschleppungsverlusten beträgt, bezogen auf 1 m^3 Systeminhalt, 0,2 m^3 pro Woche. Nach einer Woche wird dieser Verlust durch Nachdosierung ausgeglichen.
- Kosten für Transport und Entsorgung 250,– DM/t
- Abfallabgabe: Kühlschmierstoff- und Waschemulsionen sind der Abfallkategorie 2 zugeordnet. Damit ergeben sich 200,– DM/t als Abfallabgabe (ab 1993).
- Einkauf: 6,– DM/kg Konzentrat. Bei einer angenommenen Verdünnung von 50 kg/m^3 Kühlschmierstoff (1 : 20) ergibt dies 300,– DM/t bzw. pro m^3 Systeminhalt.

Damit läßt sich folgender rechnerischer Zusammenhang herleiten.

1. **Austausch des Systeminhalts nach einer Woche:**
   Jährlich zu entsorgen: $52\ (1-0{,}2)\ m^3 = 41{,}6\ m^3$
   Jährlich neu zu beschaffen: $52 \times 1\ m^3 = 52\ m^3$

2. **Austausch des Systeminhalts nach zwei Wochen:**
   Jährlich zu entsorgen: $26\ (1-0{,}2)\ m^3 = 20{,}8\ m^3$
   Jährlich neu zu beschaffen: $26\ (1 + 0{,}2)\ m^3 = 31{,}2\ m^3$

3. **Austausch des Systeminhalts nach vier Wochen:**
   Jährlich zu entsorgen: $13\ (1-0{,}2)\ m^3 = 10{,}4\ m^3$
   Jährlich zu beschaffen: $13\ (1 + 3 \times 0{,}2)\ m^3 = 20{,}8\ m^3$

4. **Austausch des Systeminhalts nach n Wochen:**
   Jährlich zu entsorgen: $52/n\ (1-0{,}2)\ m^3$
   Jährlich zu beschaffen: $52/n\ (1\ m^3 + (n-1)\ 0{,}2)$

Abbildung 10-2 zeigt die jährlichen Beschaffungs- und Entsorgungsmengen in Abhängigkeit der Badstandzeit.

Badstandzeit in Wochen	Jährliche Beschaffung [m³]	Jährliche Entsorgung [m³]
1	52,00	41,60
2	31,20	20,80
4	20,80	10,40
13	13,60	3,20
26	12,00	1,60
39	11,47	1,06
52	11,20	0,80
78	10,90	0,53
104	10,80	0,40
unendlich	10,40	0,00

Abb. 10-2: Jährliche Beschaffungs- und Entsorgungsmenge in Abhängigkeit der Badstandzeit

Der Zusammenhang ist graphisch in **Abbildung 10-3** dargestellt.

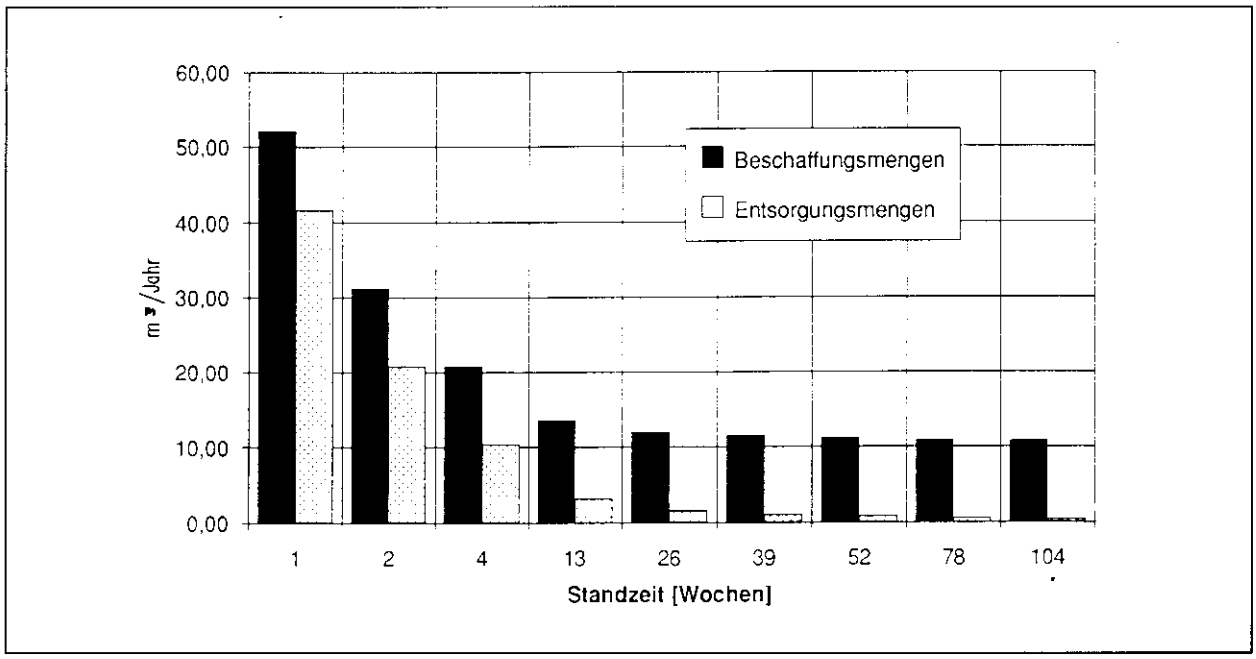


Abbildung 10-3: Jährliche Beschaffungs- und Entsorgungsmengen in Abhängigkeit der Badstandzeit, bezogen auf 1 m³ Badvolumen

Unter den vorgenannten Annahmen und Kostenansätzen berechnen sich die spezifischen (d. h. pro m³ Systeminhalt) Kosten demnach bei

- einer Badstandzeit von vier Wochen auf:

Entsorgungskosten:	4 680,– DM/m³ und Jahr
Beschaffungskosten:	6 240,– DM/m³ und Jahr
Zusammen:	10 920,– DM/m³ und Jahr

- einer Badstandzeit von 26 Wochen auf:

Entsorgungskosten:	720,– DM/m³ und Jahr
Beschaffungskosten:	3 600,– DM/m³ und Jahr
Zusammen:	4 320,– DM/m³ und Jahr

Die Differenz beträgt somit 6 600,- DM/m³ und Jahr, d. h., eine Verlängerung der Standzeit von 4 auf 26 Wochen erspart Kosten in Höhe von 6 600 DM. Bei einem angenommenen Systeminhalt von 100 m³ wären dies 660 000 DM pro Jahr. Dieser Betrag stünde mithin für Abschreibung und Verzinsung von Investitionen sowie für Betriebs- und Personalkosten zur Einrichtung und für den Betrieb entsprechender Kreislaufanlagen zur Verfügung.

11 Empfehlungen zum Entwicklungs- und Forschungsbedarf

Bei den folgenden Thematiken entspricht der Stand der Technik noch nicht den Notwendigkeiten insbesondere in bezug auf die Abfallminimierung, so daß noch weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erforderlich sind:

a) Eliminierung und Substituierung arbeitshygienisch bedenklicher sowie umweltbelastender KSS-Komponenten und -Additive wie z. B. Chlorparaffine, nitrosierbare Amine usw. Es gibt bereits eine Reihe vielversprechender Ansätze um zu umweltfreundlicheren KSS-Produkten zu kommen. Dieser Trend muß verstärkt weiterverfolgt werden. Vorversuche u. a. auch in untersuchten Unternehmen zeigen, daß die zur Verfügung stehenden KSS-Produkte z. T. noch nicht bedenkenlos eingesetzt werden können. Eine Weiterentwicklung unter Einbeziehung der Anwender ist erforderlich.

b) Systematische Untersuchung der Randbedingungen, die die Aufarbeitung/Verwertung verbrauchter KSS beeinflussen. Betrachtung der KSS-Grundstoffe und -Additive sowie das Verhalten bei Verunreinigungen bedingt durch Werkstücke, Maschine und Umgebung. Optimierung von Verfahren und Anlagen zur abfall- und energiearmen Aufkonzentrierung von KSS- und Waschemulsionen (z. B. Ultrafiltration, Verdampfung, org. Spaltung). Bei gesamtheitlicher Betrachtung sollten Betriebsversuche bei Anwendern durchgeführt werden, um allgemeine Empfehlungen für einen Einsatz bei Zerspanprozessen praktisch abzusichern. Hierbei ist auch die Rückführung von anfallenden Wässern in den Prozeß zu klären.

c) Entwicklungsbedarf besteht hinsichtlich der für die Überwachung der KSS- und Waschbäder erforderlichen Meß-, Regel- und Dosiertechnik. Eine Überwachungsstation sollte exemplarisch in Zusammenarbeit mit KSS-Lieferanten sowie Anwendern aufgebaut werden.

d) Verstärkte Einbeziehung der Belange zur optimalen KSS-Führung und -Pflege in die Entwicklungskonzepte der Werkzeugmaschinenhersteller wie z. B. die Reduzierung der Hydraulikleckagen, Dimensionierung und Zugänglichkeit der KSS-Behälter und Integration von Überwachungs- und Pflegeeinrichtungen. Eine konstruktive Zusammenarbeit zwischen Maschinenherstellern, KSS-Produzenten und Anwendern ist dabei unabdingbar.

e) Untersuchungen zu erweiterten Einsatzmöglichkeiten abfallfreier (z. B. Trockenbearbeitung) oder zumindest abfallarmer Produktionsverfahren (z. B. Sprühnebeltechnik).

f) Verzicht auf Wascharbeitsgänge zwischen verschiedenen Bearbeitungsprozessen nach dem Zerspanprozeß, so daß das Aufkommen an Waschemulsionen von vornherein minimiert wird. Dies erfordert eine Optimierung des Korrosionsschutzverhaltens von KSS-Emulsionen, so daß Werkstücke längere Zeit gelagert werden können. Hierzu sind ebenfalls in Zusammenarbeit mit KSS-Lieferanten und -Anwendern Praxisuntersuchungen durchzuführen. Arbeitstypisierte Anforderungen sind in die gesamtheitliche Beurteilung mit einzubeziehen.

g) Alternative Kühlschmierstoffe auf pflanzlicher Basis sollten an Maschinen mit Einzelversorgung sowie bei zentralen Versorgungsanlagen für verschiedene Zerspanverfahren untersucht werden. Dabei sind die derzeitigen Erkenntnisse bezüglich der

- Standzeit der Werkzeuge,
- Oberflächengüte,

- Standzeit der KSS-Bäder,
- Zerspanleistungen und Humanverträglichkeit

weiter zu belegen. Um über die Wirtschaftlichkeit Aussagen machen zu können, sind gezielte Vergleichsuntersuchungen im Rahmen von Versuchsreihen zwischen KSS auf Mineral- und Pflanzenölbasis durchzuführen, zu bewerten und in gesamtheitlichen Betrachtungen zu vergleichen.

h) Entwicklung geeigneter und wirtschaftlicher Einrichtungen zur Reduzierung der KSS-Verschleppung durch Werkstücke.

i) Gesamtheitliche Betrachtung für den alternativen Einsatz von nichtwassermischbaren und wassermischbaren Kühlschmierstoffen (siehe unten).

Anwendung einer gesamtheitlichen Betrachtung des Kühlschmierstoffeinsatzes /13/

Vor der Umstellung auf den Einsatz nichtwassermischbarer Kühlschmierstoffe (KSS-Öle) anstelle von wassermischbaren Kühlschmierstoffen (KSS-Emulsionen) sollten folgende Aspekte und Nachteile bzw. Probleme untersucht werden:

- Reduzierung der Abwassermengen, z. B.
  - längere Standzeiten der KSS-Bäder
  - mech. Reinigung von Teilen mit KSS-Rückgewinnung durch den Einsatz von Saug-Blas-Verfahren oder Zentrifugen

- Eliminierung abwasserrelevanter Probleme, z. B.
  - Nitrit, CSB, Schwermetalle (Zn, Cu, Al, Fe...)

- Reduzierung arbeitshygienischer Kriterien, z. B.
  - Biozideinsatz
  - Keime und deren Stoffwechselprodukte (Geruch, toxisches Potential)
  - Nitrosaminbildung
  - Borverbindungen
  - Hautverträglichkeit

- Reduzierung anlagentechnischer Kosten, z. B.
  - Korrosion
  - keim- und pilzbedingte Störungen
  - Pflegeeinrichtungen wie Separatoren
  - keine zentrale KSS-Versorgung erforderlich

- Reduzierter Aufwand zur KSS-Badüberwachung

- Verträglichkeit Waschbäder/Kühlschmierstoffe
  - durch Eliminierung von Tensidunverträglichkeiten

- Verbesserung der Bearbeitungsqualität, z. B.
  - bei der Feinbearbeitung
  - Minderung der Korrosion von Werkstücken

- evtl. Einsatz des Kühlschmieröles als Hydraulikflüssigkeit
  - Leckage dient als Nachfüllmenge für Kühlschmierstoffe

Nachteile:

- insgesamt höhere KSS-Verschleppungen
- Brandgefahr
- geringere Filtrationsleistungen
- Entsorgung von gebrauchten Filtern und Ölverluste bei Anschwemmfiltern
- schwierigere Verwertung/Entsorgung von ölbehafteten Spänen und Schleifschlämmen
- höhere KSS-Produktkosten
- Forschungsthemen sind die Emissionen (Ölnebel und -dämpfe) und die eventuelle PAK-Bildung

Literaturverzeichnis

/1/ Industrie-Anzeiger, 69 (1991)

/2/ Untersuchungsergebnisse der Firma MTU, Friedrichshafen
Stand Juni 1991

/3/ Kiechle, A.; Methoden der Standzeitverlängerung wäßriger Reiniger; JOT 9 (1991)

/4/ Mitteilung der Fa. Mercedes-Benz AG, Sindelfingen

/5/ Mitteilung der Henkel KGaA; Wasserbehandlung

/6/ Oswald, E.; Ultrafiltration in der Industrie;
Tagung: Praxis-Forum; 13/19

/7/ Landesabfallabgabengesetz (LAbfG) für Baden-Württemberg vom 13. 3. 1991

/8/ VDI-Richtlinie 3397/1; Pflege von Kühlschmierstoffen;
VDI-Verlag; Düsseldorf 1981

/9/ Null-Lösung; Industrie-Anzeiger 69 (1991)

/10/ Hartinger, L.; Handbuch der Abwasser- und Recyclingtechnik; 1991

/11/ FICHTNER/Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA);
Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren – Kühlschmierstoffe in Großbetrieben; Stuttgart, September 1992

/12/ Wicke, L.; Offensiver betrieblicher Umweltschutz;
Harvard manager; I (1987); S. 74–82

/13/ Mitteilung der Fa. Mercedes-Benz; Stuttgart

Anhang

1. Kostenerfassung für den betrachteten Bereich im untersuchten Unternehmen

2. Beschaffungs- und Entsorgungskostenrechnung im untersuchten Unternehmen pro Jahr und m^3 KSS-Fassungsvermögen des Systems
   Beispiel: Verlängerung der Standzeit von KSS-Emulsionen

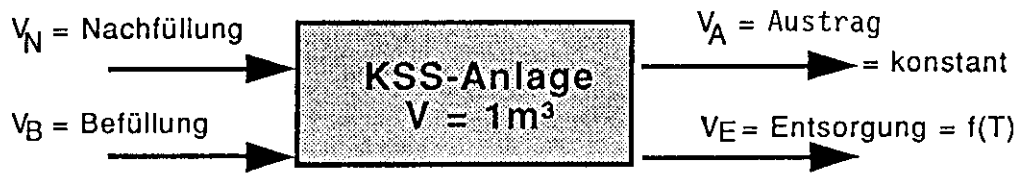
3. Kosten durch Ölverschleppung mit Spänen
   – Einsparungsmöglichkeiten durch Spänebehandlung

Abb. A-1: Kostenerfassung für den betrachteten Betriebsbereich im untersuchten Unternehmen

	Versorgung			Badpflege		Gesamt-Entsorgungskosten						SUMME
						Entsorgung			Sonderabfallabgabe			
Kostenparameter -> / Versorgungsanlagen	Einkaufs-mengen (t/a)	Einkaufs-preis (DM/t)	anfallende Kosten (DM/a)	Bad-wechsel (pro Jahr)	Kosten für Reinigung, Wartung (DM/a)	Entsorg. mengen (t/a)	Spezif. Entsorg. kosten (DM/t)	anfallende Kosten (DM/a)	Entsorg. mengen (t/a)	Spezif. S-Abfall-abgabe (DM/t)	anfallende Kosten (DM/a)	Gesamt-kosten (DM/a)
1 KSS-Einzelversorgung												
Kosten Einzelversorgung/Emulsion:				ca. 3	25000	100	400	40000	100	100	10000	125398,4
- Bohren, Drehen, Fräsen, ...	3,84	6560	25190,4									
- Schleifen	0,8	6510	5208									
- Ansatzwasser (enthärtet/entsalzt)	250	80	20000									
Kosten Einzelversorgung/Ölbasis				ca. 0,5-1	5000	3	135	405	3	100	300	18305
- Schneidöl [m3 bzw. DM/m3]	7	1800	12600									
- Pflanzl. Schneidöl	n.b.											
- Honöl [m3 bzw. DM/m3]	1,1	-	-									
2 Waschen-Einzelversorgung												
Kosten Allg. Waschanlage	0,24	4500	1080	n.b.	50000	0,25	135	33,75	0,25	100	25	51138,75
3 Hydraulik-, Schmier- und Bettbahnöl					5000							
- Hydrauliköl [m3 bzw. DM/m3]	7	1600	8960	-	-	-	-	-	-	-	-	
- Spindelöl [m3 bzw. DM/m3]	0,4	2200	704	-	-	-	-	-	-	-	-	
- Bettbahnöl [m3 bzw. DM/m3]	3,5	3200	8960	-	-	-	-	-	-	-	-	
Kosten Öle (Leckageanteil = 80 %)			18624	-	5000	in Position 1		0	in Position 1		0	23624
4 Filtervlies [m2 bzw. DM/m2]	10000	1,2	12000	-	n.b.	5,1	450	2295	5,1	50	255	14550
AUSGABEN (Summe Pos. 1 - 4)			94702,4		85000			42733,75			10580	233016,1
5 Späne					20000							
- Stahl- und Gußspäne	-	-	-	-	-	241	-30	-7230	-	-	-	
- Aluminiumspäne	-	-	-	-	-	0,48	-80	-38,4	-	-	-	
- Messingspäne	-	-	-	-	-	0,6	-100	-60	-	-	-	
ERLÖSE (Summe Pos. 5)	-	-	0	-	20000			-7328,4			0	12671,6
6 GESAMTKOSTEN (Summe Pos. 1 - 5)			94702,4		105000			35405,35			10580	245687,7

- : Angabe (hier) nicht relevant
n.b. : nicht bekannt

Verlängerung der Standzeit bei KSS-Emulsionen



Definition:

V = Badvolumen
T = Standzeit (Wochen)
z = Badwechsel pro Jahr = $\frac{52}{T}$

Turnover (Verweilzeit) = 6 Wochen

$V_N = \frac{52}{6} \cdot V = 8{,}7 \cdot V$; $V_N = V_A$ = konstant

T	4	6	8	12	26	52	104
z	13	8,7	6,5	4,3	2	1	0,5

1.) Kosten für die Beschaffung:

mit $V_B = z \cdot V$

Einkauf: x = 6560 DM/t Konzentrat

Einsatzkonzentration: c_E = 7 %

Nachfüllkonzentration: c_N = 2 %

Kostenfunktion:
$K_1 = x \cdot (c_N \cdot V_N + c_E \cdot V_E)$

Normierung auf 1m³ Badvolumen:
$K_1' = 1.$ Konstante + 2. Konstante $\cdot$ 1/T

2.) Kosten für die Entsorgung:

mit $V_E = z \cdot V$

Entsorgung: y = 500 DM/m³ Emulsion
(einschl. 100 DM Sonderabfallabgabe)

Kostenfunktion:
$K_2 = y \cdot V_E$

Normierung auf 1m³ Badvolumen:
$K_2' = 3.$ Konstante $\cdot$ 1/T

Gesamtkosten:
$K_G' = K_1' + K_2'$

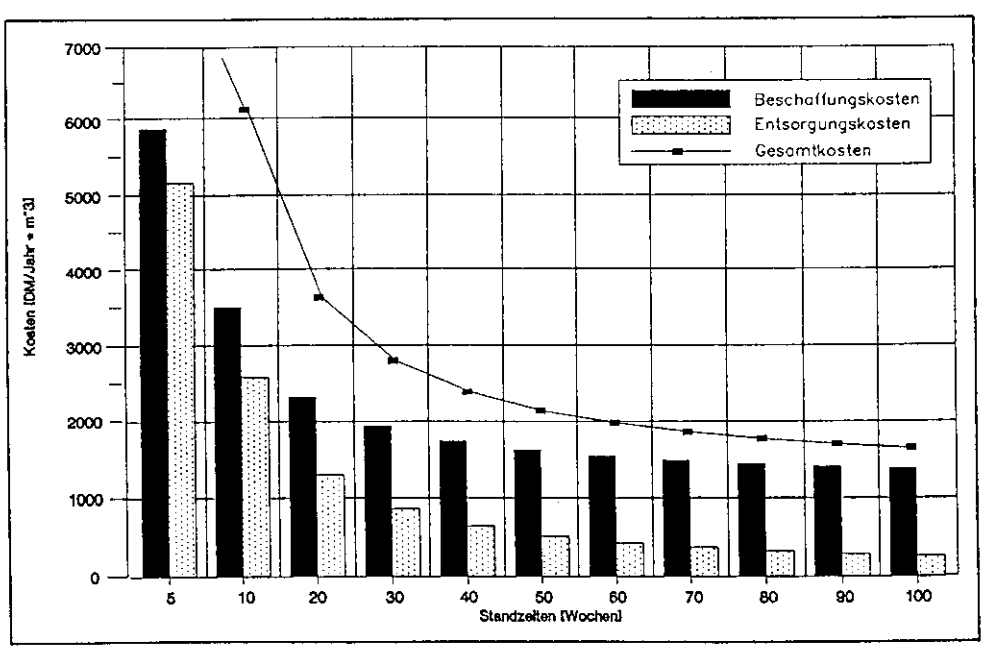
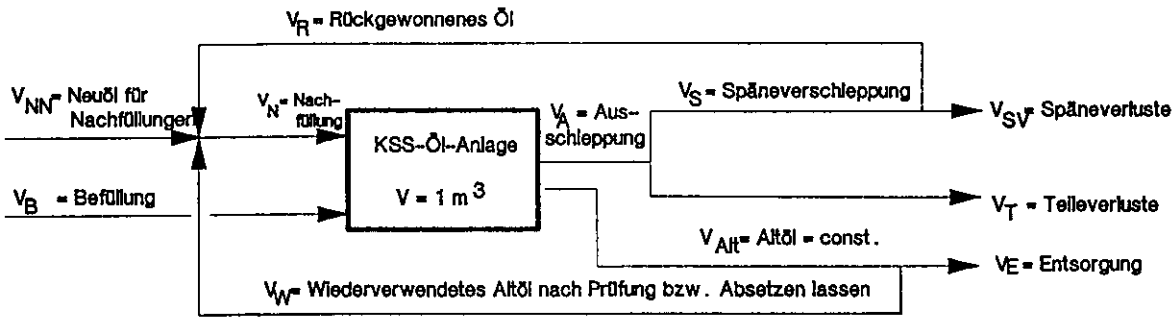


Abb. A-2: Beschaffungs- und Entsorgungskostenrechnung im untersuchten Unternehmen pro Jahr und m³ KSS-Fassungsvermögen des Systems
Beispiel: Verlängerung der Standzeit von KSS-Emulsionen

Verringerung von Verschleppungen durch Späne bei KSS-Ölen



Definitionen, Randbedingungen vereinfachende Annahmen

1. V = Badvolumen, V_B = jährliche Befüllung infolge Ölwechsel (alle 52 Wochen)
2. Verluste durch Teileausschleppung, Verdampfung etc. werden hier nicht betrachtet
3. V_{Alt} = anfallende Altölmenge = const.

===> $V_{ges} = V_N + V_B = V_{Alt} + V_A$

Kosten durch Ölverschleppung

x_1 = Anfangsölgehalt der Späne [g/kg Späne], x_2 = Endölgehalt der Späne nach Ölrückgewinnung

Einkaufspreis für Schneidöl: E_p = 1.800 DM/t
Entsorgungskosten inkl. 100 DM Sonderabfallabgabe: E_K = 235 DM/t
===> E_K wesentlich geringer als E_p, daher Entsorgungskosten nicht weiter betrachtet

Öl-Rückgewinnungsgrad $R = \frac{V_R}{V_S} = \frac{x_1 - x_2}{x_1}$; Kosten durch Ölverschleppung $K = \frac{E_p \cdot (1-R) \cdot x_1}{1000}$

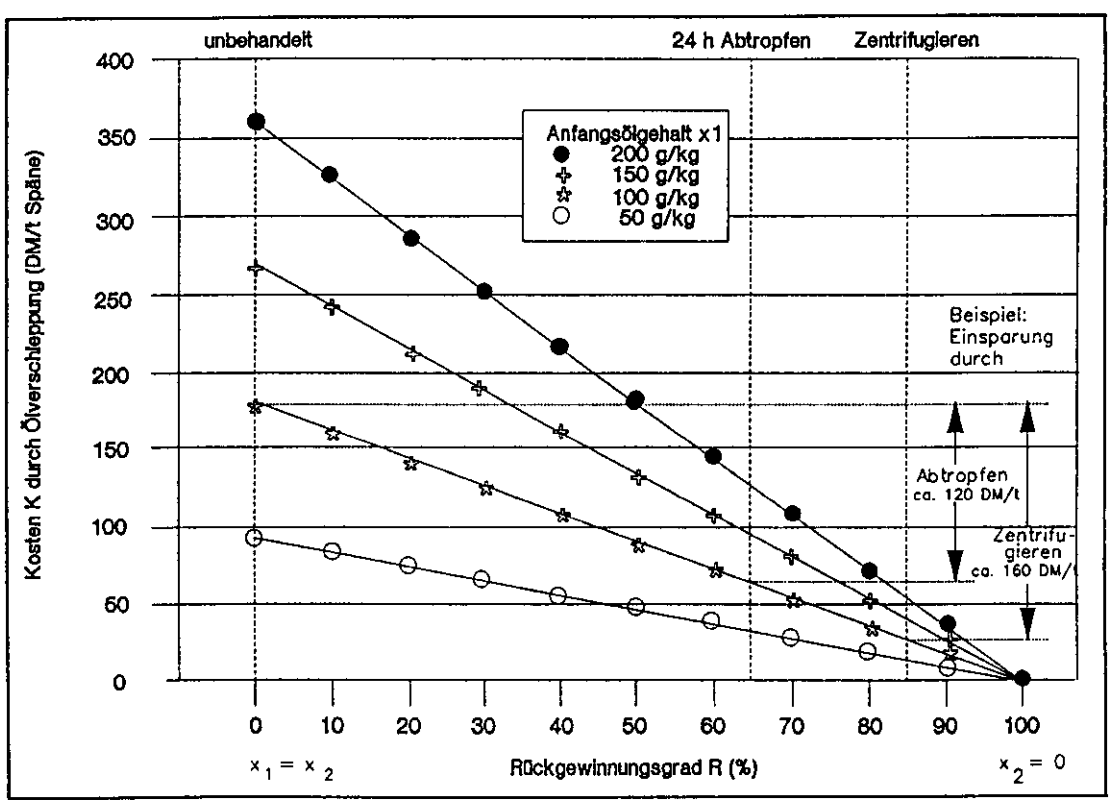


Abb. A-3: Kosten durch Ölverschleppung mit Spänen – Einsparungsmöglichkeiten durch Spänebehandlung