Untersuchung zum Thema:

Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren

Lösemittel aus der Oberflächenreinigung Metall- und Elektrobranche

im Auftrag der
ABAG-Abfallberatungsagentur
Baden-Württemberg

Dr. Lieselotte Schebek
Peter Fink
Claudia Roos

Lahmeyer International GmbH
Lyoner Straße 22
D-60528 Frankfurt (Main)

Frankfurt, Mai 1994

Erarbeitung:
Dr. L. Schebek, P. Fink, C. Roos; Lahmeyer International GmbH, Frankfurt

In diese Broschüre sind Beiträge und Erfahrungen fachlich qualifizierter Vertreter von Unternehmen, Instituten, Verbänden, Innungen und des Umweltministeriums Baden-Württemberg eingeflossen, für deren Engagement sich die ABAG – Abfallberatungsagentur Baden-Württemberg – ausdrücklich bedanken möchte. Der Arbeitskreis „Vermeidung, Verminderung, Verwertung von Lösemittelabfällen aus der Oberflächenreinigung" hat sich Mitte 1992 gebildet und besteht aus folgenden Mitgliedern:

E. Brenzinger	Brenzinger GmbH, Schwieberdingen
R. Busam	ABAG-Abfallberatungsagentur Baden-Württemberg, Fellbach-Schmiden
Dr. J. Carreiro	Robert Bosch GmbH, Stuttgart
U. Claußen	Recycling-Chemie Niederrhein GmbH, Goch
T. Daiber	Dürr GmbH, Filderstadt
C. Dürr	Christoph Dürr GmbH, Lauda-Königshofen
J. Hein	Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung, Universität Karlsruhe
R. Höllwarth	ABAG-Abfallberatungsagentur Baden-Württemberg, Fellbach-Schmiden (bis März 1993)
T. Holtmann	Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion, Universität Karlsruhe
G. Kraef	Recycling-Chemie Niederrhein GmbH, Goch
Dr. R. Maurer	Baden-Württembergischer Handwerkstag, Stuttgart
F. Mayerl	Landesinnungsverband des Elektrohandwerks Baden-Württemberg
L. Mertins	ABAG-Abfallberatungsagentur Baden-Württemberg, Fellbach-Schmiden
H. Osswald	Industrie- und Handelskammer, Region Stuttgart
Dr. B. Schaible	ABAG-Abfallberatungsagentur Baden-Württemberg, Fellbach-Schmiden
P. Schwanhäuser	Industrie- und Handelskammer, Schwarzwald-Baar-Heuberg

Herausgeber:
ABAG-Abfallberatungsagentur
Geschäftsbereich der
SBW-Sonderabfallentsorgung Baden-Württemberg GmbH
Stauferstraße 15
70736 Fellbach
Telefon 07 11 / 95 19 11-0
Telefax 07 11 / 95 19 11-20

Mai 1994

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

Gesamtherstellung: Oertel – Spörer, Reutlingen

Alle Rechte der Verbreitung, auch durch Film, Funk und Fernsehen, fotomechanische Wiedergabe, Tonträger jeder Art, auszugsweisen Nachdruck oder Einspeicherung und Rückgewinnung in Datenverarbeitungsanlagen aller Art, sind vorbehalten.

Vorwort

In Baden-Württemberg fallen jährlich rund 500 000 t Sonderabfälle an. Mit dieser Menge könnte man einen Güterzug beladen, der von Basel bis Frankfurt reicht. Diese Sonderabfälle sind Rückstände unserer Wohlstandsgesellschaft. Wir alle erzeugen durch unser Konsumverhalten und unsere Wirtschaftsweise täglich Sonderabfälle. Vorrangiges Ziel der Sonderabfallpolitik ist es, diese Menge von Sonderabfällen deutlich zu reduzieren. Die Vermeidung von Abfällen und Sonderabfällen hat absolute Priorität. Um dies zu erreichen, ist ein Umdenken in den Betrieben und in der Gesellschaft erforderlich.

Zu einer ökologischen Neuorientierung von Wirtschaft und Gesellschaft gehört unabdingbar der Einstieg in die Kreislaufwirtschaft. Der Hauptansatzpunkt hierfür ist das Produkt – wir müssen die Verantwortung des Herstellers in Industrie und Handwerk zu seinem Produkt einfordern, und zwar von der Wiege bis zur Bahre, von der Rohstoffauswahl bis hin zur Entsorgung. Dieser produktorientierte Ansatz muß das bisher oft vorherrschende „End-of-the-pipe"-Denken ersetzen. Bereits im Vorfeld der Abfallentstehung, bei der Produktentwicklung und -konstruktion, müssen Rohstoffschonung und Abfallvermeidung entscheidende Aspekte sein. Mit anderen Worten: Umweltschutz muß in den Köpfen der Handwerker und Ingenieure anfangen. Die geplanten Rücknahmeverordnungen für Autos, Elektro- und Elektronikgeräte, Batterien, Druckerzeugnisse usw. sind meines Erachtens wichtige Schritte auf dem Weg in die Kreislaufwirtschaft.

Mit der 1991 eingerichteten Abfallberatungsagentur (ABAG) stellt das Land den Betrieben ein Beratungsinstrument zur Seite. Die Abfallberatungsagentur soll zunächst abfallarme Produktionsverfahren erkunden und deren Weiterentwicklung in Form von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben initiieren. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen auf dem Wege der individuellen Beratung, auf Workshops und über Informationsschriften sowohl an die gewerbliche Wirtschaft als auch an die technischen Fachbehörden weitergegeben werden.

Ein wesentlicher Eckpfeiler der gegenwärtigen Arbeit der Abfallberatungsagentur ist es, die im Auftrag des Umweltministeriums durchgeführten Untersuchungen zum Thema „Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren" zu betreuen und fortzuführen.

Im Rahmen der vorliegenden Broschüre werden zunächst die prinzipiellen Möglichkeiten zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von Lösemittelabfällen aus der Oberflächenreinigung aufgezeigt. Aufbauend auf diesen allgemeinen Grundlagen werden anschließend für vier untersuchte Betriebe unter Berücksichtigung betriebsspezifischer Randbedingungen konkrete Vorschläge zur Reduzierung von Lösemittelabfällen bei der Oberflächenreinigung ausgearbeitet und deren Wirtschaftlichkeit betrachtet. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, daß die dargestellten Maßnahmen nicht nur ökologisch, sondern in der Regel auch ökonomisch sinnvoll sind.

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

Kurzfassung 6

Teil A – Allgemeiner Teil und Stand der Technik 12

1 Einführung 12
1.1 Oberflächenreinigung durch Lösemittel 12
1.2 Metall- und Elektrobranche in Baden-Württemberg 12

2 Grundlagen der Oberflächenreinigung mit Lösemitteln 14
2.1 Die Reinigungsaufgabe 14
2.1.1 Eigenschaften der zu reinigenden Teile 14
2.1.2 Art und Herkunft der zu entfernenden Verunreinigungen 15
2.1.3 Anforderungen an die Reinigung aufgrund nachfolgender Verfahrensschritte 16
2.2 Die Lösemittel für die Reinigung 18
2.2.1 Einteilung der Lösemittel 18
2.2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen für den Einsatz von Lösemitteln . . . 19
2.2.3 Einsatzbereiche von Lösemitteln 22
2.3 Die Reinigungsverfahren 23
2.3.1 Manuelle Reinigung 23
2.3.2 Automatisierte Reinigungsverfahren 24
2.4 Abgas- und Abwasserbehandlung 25
2.4.1 Abgasbehandlung 25
2.4.2 Abwasserbehandlung 26

3 Reststoffe aus der Reinigung mit Lösemitteln 27
3.1 Reststoffe beim Einsatz chlorierter Lösemittel 27
3.1.1 Bezeichnungen nach TA Abfall 27
3.1.2 Anfallbedingungen 27
3.1.3 Derzeitige Verwertung/Entsorgung 28
3.2 Reststoffe beim Einsatz nicht chlorierter Lösemittel 29
3.2.1 Bezeichnungen nach TA Abfall 29
3.2.2 Anfallbedingungen 29
3.2.3 Derzeitige Verwertung/Entsorgung 30
3.3 Lösemittelhaltige Schlämme 30
3.3.1 Bezeichnungen nach TA Abfall 30
3.3.2 Anfallbedingungen 30
3.3.3 Derzeitige Verwertung/Entsorgung 31

4 Möglichkeiten zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von gebrauchten Lösemitteln 32
4.1 Vermeidung des Anfalls von gebrauchten Lösemitteln 33
4.2 Verminderung des Anfalls von gebrauchten Lösemitteln 44
4.3 Verwertung von gebrauchten Lösemitteln 52

Tabellenverzeichnis Teil A 65

Abbildungsverzeichnis Teil A 65

Teil B – Betriebsuntersuchungen 67

Vorbemerkung zu den Betriebsuntersuchungen 67

Betrieb 1: Hersteller von Werkzeugmaschinen und Bearbeitungszentren. 69

Betrieb 2: Mittelständischer Hersteller von Spritzpistolen 93

Betrieb 3: Mittelständischer Hersteller von elektrotechnischen Zulieferteilen und Systemkomponenten 121

Betrieb 4: Handwerksbetrieb 147

Anhang 161

Literaturhinweise zu wäßrigen Reinigungsverfahren 174

Kurzfassung

In praktisch allen Bereichen der Metall- und Elektrobranche werden organische Lösemittel als Hilfsmittel eingesetzt. Hauptanwendungsgebiete sind einerseits die Reinigung von Werkstücken und Maschinen, andererseits die Lackierung. Die vorliegende Broschüre befaßt sich ausschließlich mit Reststoffen aus der Lösemittelanwendung bei der Oberflächenreinigung. Nicht berücksichtigt werden der gesamte Bereich der Lackiertechnik (inklusive der Entlackung). Zu den hier anfallenden spezifischen Reststoffen wurden von der ABAG bereits mehrere Informationsbroschüren vorgelegt.

Gereinigt werden Oberflächen von Werkstücken vor der Weiterverarbeitung oder Fertigstellung sowie Maschinen und Geräte. Die Oberflächenreinigung von Werkstükken dient zur Entfernung der aus verschiedenen Produktionsprozessen resultierenden Verunreinigungen wie Öle, Späne, Korrosionsprodukte o. ä. Sie erfolgt meist in speziellen Anlagen und ist ein fest in den Produktionsablauf integrierter Verfahrensschritt. Die Maschinen- und Gerätereinigung erfolgt im allgemeinen manuell nach Bedarf, d. h. nach Gebrauch oder bei der regelmäßigen Wartung.

Der Einsatz von Lösemitteln für die Reinigung wird im wesentlichen von folgenden Faktoren bestimmt:

- Material und Form der zu reinigenden Werkstücke selbst
- Art der Verunreinigung (diese ist abhängig von den Arbeitsschritten vor der Reinigung)
- nachgeschaltete Behandlungsschritte (bzw. Qualitätsanforderungen an das Endprodukt)
- Technik der Reinigung bzw. vorhandene Reinigungsanlage

Als **Materialien** der gereinigten Teile sind vor allem Stahl und Guß sowie NE-Metalle (z. B. Kupfer, Aluminium, Zink) zu nennen. Daneben werden auch beschichtete Oberflächen (z. B. Metall- und Kunststoffbeschichtungen) und einzelne Kunststoffkomponenten (z. B. Fahrzeugteile) gereinigt. In bezug auf die Reinigungsanforderungen unterscheidet man nach Teilen mit einfacher (z. B. glatte Oberflächen) und komplizierter Geometrie (z. B. Sacklöcher) sowie nach der Oberflächenempfindlichkeit. Der Einsatzbereich von Lösemitteln ist vom Werkstoff vorgegeben. Metalle können mit allen gängigen Lösemitteln gereinigt werden, dagegen werden Kunststoffe oder lackierte Oberflächen durch viele Lösemittel angegriffen. Eine allgemeingültige Zuordnung von Lösemitteln bzw. Lösemittelgruppen zu Reinigungsaufgaben ist nicht möglich, da die Eignung eines Lösemittels durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflußt wird, die teilweise unabhängig von der eigentlichen Reinigungsaufgabe sind (wie z. B. verwendete Verfahrenstechnik, Arbeitsplatzbedingungen oder Durchsatzleistungen).

Die auftretenden **Verunreinigungen** hängen von den eingesetzten Fertigungsverfahren und Hilfsstoffen ab. Sie lassen sich grob klassifizieren in Öle und Fette einerseits sowie anorganische Verunreinigungen (Späne, Korrosionsprodukte, Staub) andererseits. Die häufigsten Reinigungsaufgaben beziehen sich auf Öle, Emulsionen, Pigmentschmutz und Späne.

Die der Reinigung **nachfolgenden Verfahrensschritte** bestimmen die Anforderungen an den Reinigungsgrad. Die Definition exakter Qualitätsanforderungen an Reinigungsvorgänge ist allerdings problematisch, da die Quantifizierung der Sauberkeitsanforderungen der nachfolgenden Verfahrensschritte vergleichsweise aufwendige Meßverfahren erfordert. Die Beurteilung des Reinigungsergebnisses erfolgt daher in der Praxis im allgemeinen subjektiv nach Augenschein oder mit Hilfe einfacher qualitativer Tests (z. B. Wasserbruchtest, Prüftinten).

Die **Reinigungsverfahren** werden im wesentlichen unterschieden nach manueller Reinigung und (automatisierten) Reinigungsanlagen. Die manuelle Reinigung erfolgt meist in einfachen Gefäßen oder Waschständen direkt am Arbeitsplatz mit Pinsel oder Lappen oder bei größeren Teilen durch Abspritzen bzw. Abreiben in Waschkabinen. Als Reiniger werden vor allem Kohlenwasserstoffe mit hohem Flammpunkt sowie (im Lackierbereich) Verdünner eingesetzt.

Die wichtigsten Techniken in automatisierten Verfahren sind das Tauchen (u. U. mit zusätzlichen Maßnahmen wie Unterstützung der Reinigung mit Ultraschall, Rotieren in einer Trommel oder Auf- und Absenken an einem Gestell), das Fluten (auch als Injektionsfluten und Druckumfluten), das Spritzen sowie das Dampfentfetten. Im Anschluß an die Reinigung erfolgt die Trocknung der Werkstücke, die bei schwerflüchtigen Lösemitteln durch Vorwärmen der Trocknungsluft oder Anlegen eines Vakuums unterstützt werden kann. Für die genannten Verfahren können praktisch alle üblichen Lösemittel eingesetzt werden (für das Dampfentfetten werden allerdings keine schwerflüchtigen Lösemittel benutzt). Luftseitige Emissionen können durch gekapselte Anlagen und Abluftreinigungsanlagen vermindert werden; dies ist für Anlagen mit chlorierten Lösemitteln gesetzlich vorgeschrieben. Für CKW-Reinigungsanlagen ist darüber hinaus eine Behandlung des anfallenden Abwassers erforderlich.

Die bei der Reinigung in der Metall- und Elektrobranche eingesetzten organischen Lösemittel werden in die zwei Hauptgruppen **chlorierte Lösemittel** und **nicht chlorierte** Lösemittel eingeteilt. Der Einsatz von Lösemitteln wird durch verschiedene rechtliche Bestimmungen geregelt, die auf Chemikaliengesetz, Bundes-Immissionsschutzgesetz, Abfallgesetz, Wasserhaushaltsgesetz und Gerätesicherheitsgesetz beruhen. Bei den chlorierten Lösemitteln (CKW) dürfen aufgrund gesetzlicher Vorgaben ausschließlich Tetrachlorethen (Per), Dichlormethan (Methylenchlorid) und Trichlorethen (Tri) eingesetzt werden; eine Vermischung dieser Lösemittel ist verboten. Bei den nicht chlorierten Lösemitteln werden hauptsächlich Kohlenwasserstoffe (n-/i-Paraffine, Naphthene) verwendet, die häufig als Gemische eingesetzt werden. Daneben finden auch Alkohole, Ketone und Ester für Reinigungszwecke Anwendung.

Aus der Reinigung fallen die gebrauchten Lösemittel an. Diese stellen überwachungsbedürftige **Abfälle** bzw., wenn sie stofflich oder thermisch verwertet werden (bis auf wenige Ausnahmen) überwachungsbedürftige **Reststoffe** dar. Überwachungsbedürftige Abfälle unterliegen in Baden-Württemberg der Sonderabfallabgabe, wenn beim Abfallerzeuger insgesamt mehr als 500 kg/a überwachungsbedürftige Abfälle anfallen. CKW-haltige Abfälle sind darüber hinaus in der Regel andienungspflichtig.

Gebrauchte chlorierte Lösemittel fallen beim vollständigen Austausch des Inhalts von Reinigungsanlagen sowie als Sumpf von Destillationsanlagen an, die in die Reinigungsanlagen integriert sind. Sie werden in den meisten Fällen zur Verwertung an externe Destillateure abgegeben. Die Verordnung über die Entsorgung gebrauchter halogenierter Lösemittel (HKWAbfV) schreibt neben der Getrennthaltung einzelner Lösemittel auch die Rücknahmepflicht von Lösemitteln durch die Vertreiber vor.

Gebrauchte nicht chlorierte Lösemittel fallen ebenfalls beim Austausch der Füllung von Reinigungsanlagen an. Darüber hinaus resultieren sie auch aus der manuellen Reinigung. Von den nicht chlorierten Lösemitteln wird gegenwärtig nur ein geringerer Anteil (verglichen mit den chlorierten Lösemitteln) einer stofflichen Verwertung zugeführt.

Neben den genannten Reststoffen sind als weitere Rückstände die **lösemittelhaltigen Schlämme** zu nennen. Diese fallen unter anderem aus Destillationsanlagen an, die in Reinigungsanlagen integriert sind. Schlämme mit nicht halogenierten Lösemitteln entstehen außerdem bei der manuellen Gerätereinigung (z. B. Reinigung von Spritzpisto-

len und von Mischgefäßen/Fässern mit Farbresten). In der Praxis wird die Abgrenzung von lösemittelhaltigen Schlämmen und Lösemitteln selbst sehr unterschiedlich gehandhabt; so werden zum Teil bereits stark verunreinigte, ölhaltige Lösemittel als Schlamm bezeichnet.

Lösemittelhaltige Schlämme werden überwiegend in dafür genehmigten Anlagen thermisch verwertet oder in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt.

Zur Verringerung des Aufkommens von gebrauchten Lösemitteln stehen verschiedene technische Maßnahmen zur **Vermeidung, Verminderung** und **Verwertung** zur Verfügung.

Unter Abfall- und Reststoff**vermeidung** sind organisatorische und technische Maßnahmen zu verstehen, die die Entstehung lösemittelhaltiger Abfälle oder Reststoffe vollständig verhindern, ohne daß andere Reststoffe in größerem Ausmaß erzeugt werden. Dies kann geschehen durch vollständige Einsparung von Reinigungsschritten oder durch Umstellung auf lösemittelfreie Reinigungsverfahren (unter gleichzeitiger Durchführung von abfallvermeidenden bzw. -vermindernden Maßnahmen bei den Alternativverfahren).

Tabelle 0-1 gibt einen Überblick über Möglichkeiten zur Vermeidung lösemittelhaltiger Rückstände.

Tab. 0-1: Vermeidung von verunreinigten Lösemitteln

Maßnahme	Möglichkeiten zur Reststoffvermeidung
Einsparung von Reinigungsschritten	– Überprüfung der Notwendigkeit von Reinigungsaufgaben – Ermittlung von Mindest-Reinigungsgraden – Umstellung auf reinigungsfreie Herstellungsverfahren
Einsatz wäßriger Reinigungsverfahren	– Verringerung von Verschleppungen – Kaskadenführung der Wasch- und Spülmedien – Standzeitverlängerung durch innerbetriebliche Aufbereitung bei Einsatz von Schwerkraftölabscheidern, Skimmern, Separatoren, Mikro-/Ultrafiltration, Elektrokoagulation, Verdampfung
Einsatz von Niederdruckplasma-Reinigungsverfahren (beschränkt auf bestimmte Anwendungsfälle)	– Verwendung von unproblematischen Hilfsgasen

Verminderung des Anfalls gebrauchter Lösemittel

Unter Abfall- und Reststoff**verminderung** sind organisatorische und technische Maßnahmen zu verstehen, die den Lösemittelverbrauch und damit die anfallenden Reststoffmengen reduzieren. Hier sind zum einen der Reinigung vorgeschaltete Maßnahmen zu nennen, zum anderen Maßnahmen zur besseren Ausnutzung des Lösemittels während der Reinigung.

Die mechanische Vorreinigung ermöglicht in vielen Fällen, mit relativ geringem technischem Aufwand eine erhebliche Verminderung der Verunreinigungen und damit ein deutlich reduzierter Schmutzeintrag in das Lösemittelbad zu erzielen. Demgegenüber stellt die reinigungsfreundliche Konstruktion eines Werkstücks Anforderungen an die Entwicklung und kann nur im Rahmen der vorgegebenen Anforderungen an die Funktion des entsprechenden Teils umgesetzt werden.

Die Mehrfachverwendung des Lösemittels ist Stand der Technik bei allen automatischen Reinigungsverfahren; sie ist jedoch auch bei der manuellen Reinigung möglich. Die Verlängerung der Badstandzeit durch Badkontrolle/Badpflege ist Stand der Technik bei chlorierten Kohlenwasserstoffen; bei nicht chlorierten Kohlenwasserstoffen besteht ein Entwicklungsbedarf sowohl in der Analytik als auch in der Nachdosierung von Additiven.

In Tabelle 0-2 sind Möglichkeiten zur Verminderung von lösemittelhaltigen Rückständen stichwortartig zusammengefaßt.

Tab. 0-2: Verminderung von verunreinigten Lösemitteln

Maßnahme	Möglichkeiten zur Reststoffverminderung
Reduzierung durch vorgeschaltete Maßnahmen	– Reduzierung der Verunreinigung an der Quelle – Mechanische Vorreinigung
Vereinfachung des Reinigungsvorgangs	– Reinigungsfreundliche Konstruktion – Vereinheitlichung des Reinigungsproblems
Bessere Ausnutzung des Lösemittels	– Mehrfachverwendung des Lösemittels durch Kreislaufführung – Mehrfachverwendung des Lösemittels durch Kaskadenführung – Filtration des Lösemittels – Verlängerung der Einwirkzeit – Verbesserung der Reinigungswirkung – Kontrolle und Pflege der Lösemittelqualität

Unter Abfall- und Reststoff**verwertung** wird die betriebsinterne oder externe Rückgewinnung von Lösemitteln verstanden. Angestrebt werden sollte dabei stets, die rückgewonnenen Stoffe für den gleichen Einsatzzweck wieder zu nutzen, um Stoffkreisläufe zu schließen. Nur als zweite Priorität kommt die Erzeugung minderwertiger Regenerate und Verwendung für minderwertige Einsatzzwecke in Frage, da dieses sogenannte „down-cycling" bestenfalls eine stoffliche Verwertung auf niedrigem Niveau bzw. eine thermische Verwertung ermöglicht.

Tabelle 0-3 nennt stichpunktartig mögliche Verwertungsmaßnahmen nach dem Stand der Technik.

Tab. 0-3: Verwertung von verunreinigten Lösemitteln

Maßnahme	Möglichkeiten zur Reststoffverwertung
Organisatorische Maßnahmen	– Getrennthaltung der gebrauchten Lösemittel von anderen Reststoffen – Kontrolle der Entsorgungseinrichtungen
Innerbetriebliche Verwertung	– Normaldruck-Destillation – Vakuum-Destillation – Lösemittelabtrennung – Sumpfdestillation
Externe Lohndestillation	– Einbindung der Lösemittelhersteller und -händler – Einbindung der Lösemittelaufbereiter – Einbindung der Reinigungsanlagenhersteller

In Teil B der vorliegenden Broschüre wurden beispielhaft vier Betriebe (davon zwei aus der Metall- und zwei aus der Elektrobranche) auf Möglichkeiten der Vermeidung, Verminderung und Verwertung der anfallenden Lösemittel untersucht. Bei der Auswahl der Betriebe wurde versucht, ein möglichst breites Spektrum von Produktionsverfahren abzudecken und Betriebstypen vom größeren mittelständischen Unternehmen bis zum Handwerksbetrieb zu erfassen. In den Betrieben wurde durch Vor-Ort-Untersuchungen die Ist-Situation aufgenommen und für mengenrelevante Lösemittel Konzepte zur Reststoffminimierung erarbeitet. Kriterien für die Erarbeitung der Konzepte waren einerseits die abfallwirtschaftliche Prioritätensetzung – d. h. Vermeidung vor Verminderung vor Verwertung von Reststoffen und Vorrang der stofflichen Verwertung mit dem Ziel der Schließung von Stoffkreisläufen –, andererseits die Wirtschaftlichkeit der erarbeiteten Vorschläge unter den Randbedingungen der untersuchten Betriebe.

Betrieb 1 (Metallbranche) ist ein bedeutender Hersteller von Werkzeugmaschinen und Bearbeitungszentren und gehört damit zur Investitionsgüterindustrie. Zur Zeit arbeiten hier 1 500 Beschäftigte, davon 785 in der Produktion. Bei der Maschinenherstellung werden typische Verfahren der Metallbe- und -verarbeitung, wie z. B. Drehen, Fräsen, Schleifen und Bohren, mit Materialien wie Guß und Stahl eingesetzt. Untersucht wurden die verunreinigten Lösemittel aus dem Bereich Lackiererei (insgesamt 17,5 t/a). Dort werden ein **Teilereinigungslösemittel** (bestehend aus zwei unterschiedlichen Kohlenwasserstoffgemischen) zur Oberflächenreinigung von Werkstücken vor der Lackierung und ein **Verdünner** zur Spritzpistolen- und Gerätereinigung verwendet. Bis vor kurzem wurden beide Lösemittel nach Gebrauch als Abfall entsorgt. Nunmehr ist eine Vakuum-Destillationsanlage zur Rückgewinnung des Verdünners vorhanden. Die im Rahmen der Untersuchung vorgeschlagenen Konzepte beziehen sich auf eine innerbetriebliche Rückgewinnung des Teilereinigungslösemittels sowie auf Maßnahmen zur Mehrfachnutzung der Lösemittel vor der destillativen Aufarbeitung.

Bei **Betrieb 2** (Metallbranche) handelt es sich um ein mittelständisches Unternehmen mit 250 Beschäftigten (davon 160 in der Produktion), das Spritzpistolen und Apparate für die Anwendung in der Lackiertechnik herstellt. Der Betrieb gliedert sich in die Bereiche Vorfertigung, Drehen, Feindrehen und Montage sowie Qualitätssicherung und Versand. Darüber hinaus gehören eine eigene Entwicklungsabteilung, ein Schulungsbereich für Kunden sowie eine Reparaturabteilung zum Betrieb.

Bei den anfallenden verunreinigten Lösemitteln handelt es sich um zwei verschiedene halogenfreie Kohlenwasserstoffgemische: das **Teilereinigungslösemittel** zur Oberflächenreinigung in den Bereichen Vorfertigung, Dreherei und Feindreherei (6 t/a) und das **Gerätereinigungslösemittel** zur Reinigung von Geräten und Spritzpistolen in den Bereichen Qualitätskontrolle, Entwicklung und Schulung. Während das Teilereinigungslösemittel entsorgt wird, wird das Gerätereinigungslösemittel in einer hauseigenen Destillationsanlage aufbereitet. Die vorgeschlagenen Konzepte beziehen sich auf die Umstellung der zur Zeit manuell durchgeführten Teilereinigung auf eine automatische Anlage und die Verwertung der daraus anfallenden Lösemittelmengen durch einen externen Lohndestillateur.

Betrieb 3 (Elektrobranche) ist ein mittelständisches Unternehmen der elektrotechnischen Investitionsgüterindustrie mit 460 Beschäftigten (davon 370 in der Produktion), das Zulieferteile und Systemkomponenten (elektrische Antriebe bis 100 Watt und Präzisionsmeßgeräte) produziert. Die benötigten Metall- und Kunststoffteile werden mit einer großen Fertigungstiefe hergestellt. Im Rahmen der Studie wurde die **zentrale Reinigungsanlage** des Betriebs im Bereich Fertigung untersucht. Aus dieser Anlage fiel 1992 eine Menge von 450 kg Dichlormethan an. Da die weitere Nutzung der bestehenden Anlage aufgrund der 2. BImSchV zeitlich befristet ist, hatte der Betrieb selbst bereits Voruntersuchungen zur Umstellung der Reinigung durchgeführt und sich für die Anschaffung einer geschlossenen Reinigungsanlage nach dem Stand der Technik entschieden, die mit Tetrachlorethen betrieben werden wird. Die vorgeschlagenen Konzepte beziehen sich auf eine innerbetriebliche oder außerbetriebliche Aufarbeitung des anfallenden Austauschlösemittels bzw. des Sumpfes aus der anlagenintegrierten Destillation.

Bei **Betrieb 4** (Elektrobranche, Handwerksbetrieb) handelt es sich um eine kleine Elektroreparaturwerkstatt, die Reparaturaufträge für Elektrowerkzeuge und -geräte (z. B. Kompressoren, Winkelschleifer, Aufzugsmotoren, Bohrmaschinen und Küchenabzugshauben) bearbeitet. Derzeit arbeitet nur der Eigentümer selbst, ein Elektrohandwerksmeister, in der untersuchten Werkstatt. Lösemittel (ein halogenfreier Kaltreiniger) werden zur Reinigung der Elektrowerkzeuge und -geräte vor der Reparatur in einer **Teile-Waschanlage** eingesetzt. Bei den zu reinigenden Teilen handelt es sich um komplette Gehäuseteile und Motoren, deren Anker neu gewickelt werden müssen. Die anhaftenden Verunreinigungen wie Schmierfett, Öl, Staub und Verbrennungsrückstände müssen vor der Reparatur vollständig entfernt werden. Die Teile-Waschanlage wurde vor ca. einem Jahr in Betrieb genommen; bislang war noch kein Austausch des Lösemittels erforderlich. Der jährliche Anfall von gebrauchten Lösemitteln wird auf unter 20 kg geschätzt. Die vorgeschlagenen Konzepte beziehen sich auf eine externe Verwertung der anfallenden Lösemittelkleinmengen.

Teil A – Allgemeiner Teil und Stand der Technik

1 Einführung

1.1 Oberflächenreinigung durch Lösemittel

Die Oberflächenreinigung durch organische Lösemittel ist ein weitverbreiteter Arbeitsschritt in der Metall- und Elektrobranche. Im Vordergrund steht die Reinigung von Werkstücken, die bei der Produktion in speziellen Anlagen als fest integrierter Verfahrensschritt erfolgt. Daneben werden Lösemittel auch bei der manuellen Reinigung einzelner Werkstücke sowie bei der Maschinenreinigung eingesetzt. Diese Reinigungsvorgänge erfolgen im allgemeinen diskontinuierlich nach Bedarf und werden am Arbeitsplatz von Hand vorgenommen. Die manuelle Reinigung ist insbesondere in Handwerksbetrieben üblich, in denen beispielsweise Geräte vor einer Reparatur zu reinigen sind.

Metalloberflächen in Produktionsprozessen sind verunreinigt durch Öle, Späne, Korrosionsprodukte o. ä. Vor vielen Weiterverarbeitungsschritten oder nach längerer Lagerung ist eine Reinigung erforderlich; ein Werkstück kann innerhalb eines Produktionsprozesses mehrfach Reinigungsschritte durchlaufen. Maschinen werden nach Gebrauch (z. B. Spritzpistolen) oder in bestimmten Wartungsintervallen bzw. vor Reparaturen gereinigt. Verunreinigungen sind auch hier Öle, Emulsionen etc., aber auch z. B. Lacke und Farben.

Für die Frage, ob überhaupt Lösemittel für die Reinigung eingesetzt werden und wie diese gegebenenfalls vermindert oder verwertet werden können, sind im wesentlichen folgende Faktoren von Bedeutung:

- Material und Form der zu reinigenden Werkstücke selbst
- Art der Verunreinigung (diese ist abhängig von den Arbeitsschritten vor der Reinigung)
- nachgeschaltete Behandlungsschritte (bzw. Qualitätsanforderungen an das Endprodukt)
- Technik der Reinigung bzw. vorhandene Reinigungsanlage

Damit steht zunächst das Reinigungsproblem selbst im Vordergrund. Die genannten Aspekte werden daher im folgenden Kapitel 2 dargestellt. In Kapitel 3 werden die aus der Reinigung resultierenden Reststoffe beschrieben, und Kapitel 4 behandelt ausführlich den Stand der Technik der Vermeidung, Verminderung und Verwertung gebrauchter Lösemittel und lösemittelhaltiger Reststoffe.

1.2 Metall- und Elektrobranche in Baden-Württemberg

In Baden-Württemberg stellt die **Metallbranche** einen der wichtigsten Wirtschaftsbereiche dar. Nach Angaben des Statistischen Landesamtes wurde in Baden-Württemberg 1992 in 4 277 Betrieben mit insgesamt 504 619 Beschäftigten ein Gesamtumsatz von über 172 Milliarden Mark erwirtschaftet (dabei wurden nur Betriebe mit mehr als 20 Beschäftigten erfaßt).

Die Metallbranche ist durch eine große Vielfalt von Produkten und Unterbranchen gekennzeichnet. Die Systematik des Statistischen Bundesamtes (SYPRO) unterscheidet die folgenden Industrie- und Gewerbegruppen:

- Eisenschaffende Industrie
- NE-Metallerzeugung/NE-Metallhalbzeugwerke
- Gießerei
- Ziehereien, Kaltwalzwerke, Stahlverformung, Mechanik
- Stahl- und Leichtmetallbau
- Maschinenbau
- Straßenfahrzeugbau
- Schiffbau
- Luftfahrzeugbau
- Elektrotechnische Industrie
- Feinmechanische, optische und Uhrenindustrie
- Eisen-, Blech- und Metallwarenindustrie
- Erzeuger von Musikinstrumenten, Spielwaren, Haushaltsartikeln, Schmuckwaren und Sportwaren

Die wirtschaftliche Struktur dieser einzelnen Gruppen kann sehr unterschiedlich sein. Während im Straßenfahrzeugbau vorwiegend Großunternehmen zu finden sind, ist der Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus vorwiegend durch mittelständische Unternehmen geprägt. Darüber hinaus ist eine Vielzahl von Betrieben der Metallbranche im Handwerk organisiert.

Die **Elektrobranche** stellt einen weiteren bedeutenden Wirtschaftsbereich in Baden-Württemberg dar. Nach Angaben des Statistischen Landesamtes wurde in Baden-Württemberg 1992 in 1 024 Betrieben mit 260 903 Beschäftigten ein Gesamtumsatz von über 56 Milliarden Mark erwirtschaftet (auch hier wurden nur Betriebe mit mehr als 20 Beschäftigten erfaßt).

Die Produktpalette der Elektrobranche umfaßt Komponenten und Geräte für den Industrie- und Konsumbereich. Die Systematik des Statistischen Bundesamtes unterscheidet im einzelnen die folgenden Industrie- und Gewerbegruppen:

- Herstellung von Batterien, Akkumulatoren
- Herstellung von elektrischen Leuchten und Lampen
- Herstellung von Geräten und Einrichtungen für die Elektrizitätserzeugung, -verteilung u. ä.
- Herstellung von Elektrohaushaltsgeräten
- Herstellung von Zählern, Fernmelde-, Meß- und Regelgeräten usw.
- Herstellung von Rundfunk-, Fernseh- und phonotechnischen Geräten und Einrichtungen
- Reparatur von elektrischen Geräten für den Haushalt
- Montage von elektrischen Erzeugnissen

In der Elektrobranche sind sowohl Großunternehmen als auch mittelständische Betriebe vertreten, wobei sich auch bei den Großunternehmen im allgemeinen eine dezentrale Struktur mit mehreren Werken und kleineren Fertigungseinheiten findet. Insbesondere der Reparaturbereich umfaßt darüber hinaus eine Vielzahl von kleinen Unternehmen bzw. Handwerksbetrieben.

2 Grundlagen der Oberflächenreinigung mit Lösemitteln

2.1 Die Reinigungsaufgabe

Ausgangspunkt für die Wahl eines Reinigungsverfahrens ist eine möglichst detaillierte Beschreibung der Reinigungsaufgabe. Wesentliche Kriterien zur Beschreibung der Problemstellung bei der Reinigung sind in Abbildung 2-1 schematisch dargestellt; sie werden im folgenden näher betrachtet.

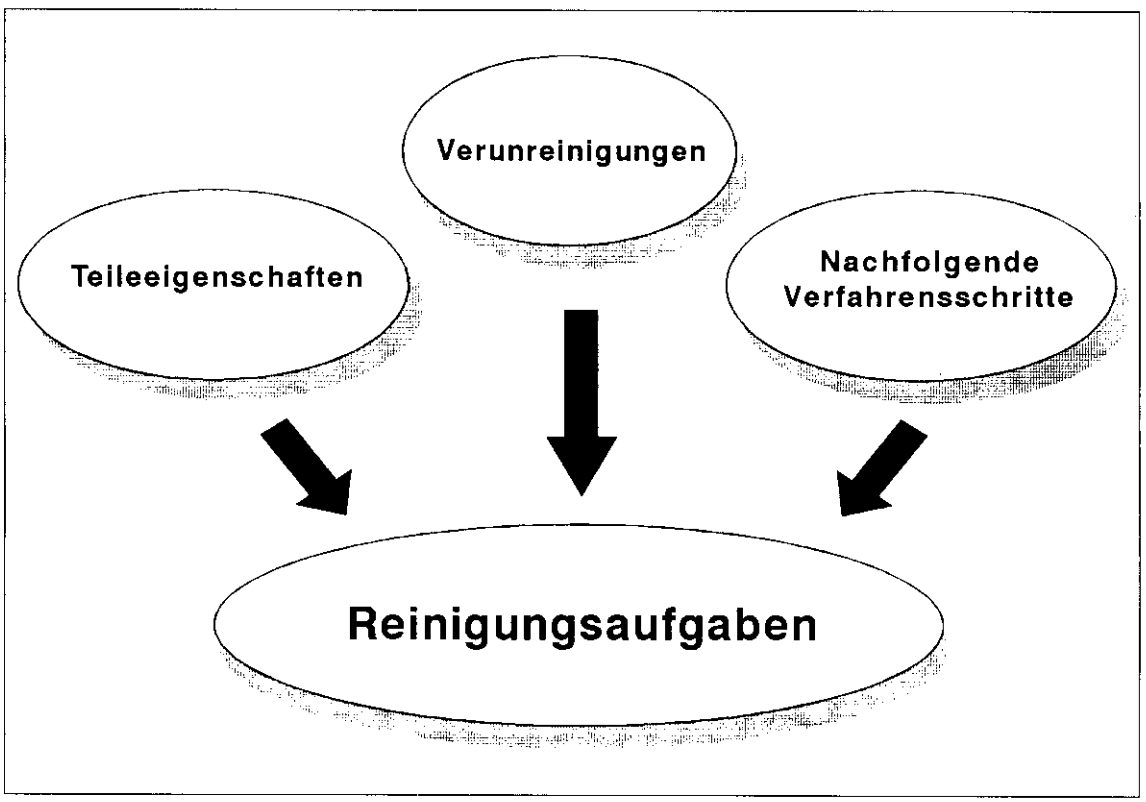


Abb. 2-1: Kriterien zur Definition der Reinigungsaufgabe

2.1.1 Eigenschaften der zu reinigenden Teile

Im Bereich der Metallbe- und -verarbeitung werden im wesentlichen Teile aus folgenden **Werkstoffen** gereinigt:

- Stahl
- Messing
- Aluminium
- Bronze
- Edelstahl
- Kupfer
- Zink
- verschiedene Metallgußarten

Darüber hinaus werden auch beschichtete Oberflächen (sowohl Metall- als auch Kunststoffbeschichtungen oder lackierte Teile) sowie Kunststoffteile (als Komponenten von Produkten, z. B. Fahrzeugteile) gereinigt.

Hinsichtlich der **Teilegeometrie** lassen sich die zu reinigenden Teile grob in zwei Gruppen einteilen:

Einfachgeometrie: einfache, leicht zugängliche Oberflächen

Problemgeometrie: komplizierte Oberflächen wie z. B. Sacklochbohrungen, Kleinstbohrungen, Blechfalze

Die zu reinigenden Teile können weiterhin hinsichtlich ihrer **Oberflächenempfindlichkeit** klassifiziert werden, die ihre Handhabung während bzw. zwischen den verschiedenen Bearbeitungsvorgängen beeinflußt. Im wesentlichen unterscheidet man hier drei Gruppen:

Korbware: Teile, die in großer Anzahl hergestellt und als Schüttgut gehandhabt werden

Gestellware: Teile mit empfindlicher Oberfläche, die einzeln, in Gestelle gehängt oder gelegt, gehandhabt werden

Aufspannteile: Teile mit empfindlicher Oberfläche, die in speziellen Spannvorrichtungen fixiert gehandhabt werden

2.1.2 Art und Herkunft der zu entfernenden Verunreinigungen

Aufgrund der Vielfalt der in der Metallbe- und -verarbeitung eingesetzten Fertigungsverfahren und Hilfsstoffe kann eine große Zahl unterschiedlicher Stoffe als Verunreinigung auftreten. In Tabelle 2-1 sind mögliche Verunreinigungen sowie Beispiele für ihre Herkunft aufgeführt.

Tab. 2-1: Art und Herkunft von Verunreinigungen

Verunreinigungsart	Beispiele für die Herkunft der Verunreinigung
Öle/Emulsionen	Drehen, Bohren, Fräsen, Schleifen, Honen, Gewindeschneiden/-bohren, Sägen
Pigmentschmutz	Polieren, Walzen, Stanzen
Späne	Drehen, Bohren, Fräsen, Gewindeschneiden/-bohren
Pasten	Läppen, Polieren, Schleifen
Ziehfette	Tiefziehen, Strangpressen
Korrosionsprodukte (z. B. Rost, Zunder)	Lagerung, Walzen
Zersetzungsprodukte (z. B. Ölkohle)	Thermische Beanspruchung beim Gebrauch
Gleitmittel (z. B. Graphit, Schwefel, Borate)	Gleitschleifen
Anorganische Verunreinigungen (z. B. Salze, Ziehseifen)	Härten, Ziehen

Von den aufgeführten Verunreinigungen kommen Öle, Emulsionen, Pigmentschmutz und Späne am häufigsten vor.

2.1.3 Anforderungen an die Reinigung aufgrund nachfolgender Verfahrensschritte

Die der Reinigung nachfolgenden Verfahrensschritte bestimmen im allgemeinen die Anforderungen an den Reinigungsgrad. Der Reinigungsgrad bezieht sich zum einen auf die Feststoffentfernung und zum andern auf die Entfernung von Ölen und Fetten.

Eine allgemeingültige Zuordnung von erforderlichen Reinigungsgraden zu möglichen nachfolgenden Verfahrensschritten ist nur bedingt möglich. Beispiele für unterschiedlich hohe Anforderungen an den Reinigungsgrad verschiedener Verfahrensschritte sind in Tabelle 2-2 aufgeführt.

Tab. 2-2: Beispiele für Reinigungsanforderungen verschiedener Verfahrensschritte

Verfahrensschritte nach Reinigung	Erforderlicher Reinigungsgrad
Galvanisierung, Emaillierung	hohe Anforderungen hinsichtlich Feststoff- und Öl-/Fettentfernung
Prüfung, Montage	spanfrei, weitgehende Öl-/Fettentfernung
Mechanische Weiterverarbeitung	spanfrei, Anforderungen an Öl-/Fettfreiheit gering (leicht ölig)
Lagerung	leichte Rückfettung zum Korrosionsschutz erforderlich

Die absoluten Werte für Restverunreinigungen umfassen einen weiten Bereich. So liegen die für die Fertigung vertretbaren Restverunreinigungen je nach Arbeitsablauf zwischen 500 mg/m^2 bei einer Zwischenreinigung und <5 mg/m^2 bei Endreinigungsverfahren.

Generell läßt sich sagen, daß die Definition von Qualitätsanforderungen an Reinigungsvorgänge in der Praxis problematisch ist: Da die Sauberkeitsanforderungen der nachfolgenden Verfahrensschritte meist nicht quantitativ definiert werden können, erfolgt die Beurteilung des Reinigungsergebnisses im allgemeinen subjektiv aufgrund der Erfahrung des Bedienungspersonals. Heute wird jedoch zunehmend die Bedeutung einer meßtechnischen Überwachung der Reinigungsqualität erkannt, und eine Reihe einfacherer Meß- bzw. Kontrollverfahren hat Eingang in die betriebliche Praxis gefunden.

Eine indirekte Kontrolle des Reinigungsergebnisses erfolgt in jedem Fall durch die Funktionsprüfung der gereinigten Teile in den nachfolgenden Verfahrensschritten (z. B. Qualität der Lackierung). Diese Kontrolle ist jedoch wegen der zeitlichen Verzögerung bis zur Feststellung der Fehlerursache und den damit verbundenen Risiken (Ausschuß, Nacharbeit) im allgemeinen nicht praktikabel.

Zur direkten Prüfung der Oberflächenreinheit stehen je nach Fragestellung unterschiedlichste Verfahren zur Verfügung. Während aufwendige spektroskopische Verfahren fast ausschließlich in Forschung und Entwicklung eingesetzt werden, finden in der Praxis hauptsächlich die in Tabelle 2-3 aufgeführten Verfahren Anwendung.

Tab. 2-3: Prüfung der Oberflächenreinheit in der Praxis

Analyseverfahren	Aussage	Randbedingungen
Sichttest	grobe Verschmutzung, Späne- und Fleckenfreiheit, Veränderungen der Oberfläche (Farbe, Korrosion)	subjektive Methode, erfordert geschultes Auge
Lupe, Mikroskop	feine Partikelverschmutzung, Veränderungen der Oberfläche (Farbe, Korrosion)	subjektive Methode, erfordert geschultes Auge, Probengröße beschränkt (Mikroskop), Zeitaufwand relativ hoch
Wischtest	Schmutzbelegung	subjektive Methode, unspezifische Aussage, relativ einfach
Gravimetrische Bestimmungen	Kontamination mit Partikeln, Ölen, Fetten	Meßunsicherheit durch Probengewinnung, vergleichende Messung
Aluminiumpulvertest	Kontamination mit Ölen und Fetten	nur qualitative Aussage möglich, relativ einfach und schnell, hohe Nachweisgenauigkeit
Wasserbruchtest, Randwinkelmessung, Prüftinten	Benetzbarkeit der Oberfläche	nur qualitative Aussage möglich, relativ einfach und schnell

Neben diesen Verfahren besteht die Möglichkeit, durch Überwachung der Lösemittelqualität (Zusammensetzung, Verunreinigung) eine indirekte Kontrolle der Reinigungsqualität durchzuführen.

Eine analytische Kontrolle der Lösemittelqualität erfolgt meist bei der Verwendung von chlorierten Lösemitteln. Aufgrund verschiedener Ursachen (z. B. thermische Zersetzung, Hydrolyse, Oxidation, katalytische Zersetzung) kann es zu Säurebildung und damit zu Materialschäden sowie zur Beeinträchtigung des Reinigungsergebnisses kommen. Um dies zu verhindern, werden den chlorierten Lösemitteln Stabilisatoren (z. B. Amine) zugesetzt. Der Stabilisierungsgrad des Lösemittels muß regelmäßig analytisch kontrolliert werden. Überwachungsparameter sind hierbei hauptsächlich der pH-Wert und die Säureaufnahmekapazität des Lösemittels, die zumeist titrimetrisch bestimmt werden. Die Menge flüssiger Verunreinigungen (Öle/Emulsionen) im gebrauchten Lösemittel kann über die damit verbundene Siedepunkterhöhung bei der Destillation abgeschätzt werden.

Für nicht halogenierte Lösemittel bestehen solche einfachen, standardisierten Meßverfahren nicht. Die Bestimmung des Brechungsindexes erlaubt lediglich die Bestimmung des relativen Verunreinigungsgrads (Ölgehalts) und erfordert für jeden Anwendungsfall eine eigene Kalibrierung. Daher erfolgt die Kontrolle der Lösemittelqualität meist über die subjektive Beurteilung von Geruch und Trübung.

2.2 Die Lösemittel für die Reinigung

2.2.1 Einteilung der Lösemittel

Die bei der Reinigung in der Metallbe- und -verarbeitung eingesetzten organischen Lösemittel werden allgemein in die zwei Hauptgruppen

- **chlorierte Lösemittel und**
- **nicht chlorierte Lösemittel**

eingeteilt.

Bei den chlorierten Lösemitteln (CKW) dürfen aufgrund gesetzlicher Vorgaben ausschließlich Tetrachlorethen (Per), Dichlormethan (Methylenchlorid) und Trichlorethen (Tri) eingesetzt werden; eine Vermischung dieser Lösemittel ist verboten.

Bei den nicht chlorierten Lösemitteln werden hauptsächlich Kohlenwasserstoffe (n-/i-Paraffine, Naphthene) verwendet, die häufig als Gemische eingesetzt werden. Daneben finden auch Alkohole, Ketone und Ester für Reinigungszwecke Anwendung. Auch Mischungen dieser Lösemittel mit Wasser kommen zum Einsatz.

In Tabelle 2-4 sind Stoffeigenschaften von in der Praxis häufig eingesetzten Lösemitteln aufgeführt.

Tab. 2-4: Stoffeigenschaften gebräuchlicher Lösemittel

Lösemittel	**Chlorierte Lösemittel**			**Nicht chlorierte Lösemittel (Beispiele für Kohlenwasserstoffe)**		
	Tetrachlorethen (Per)	Trichlorethen (Tri)	Dichlormethan (Methylenchlorid)	Testbenzin (180/210)	Isoparaffin (155/175)	Siedegrenzenbenzin (100/140)
Siedepunkt/-grenzen (°C)	121	87	40	180/210	155/175	100/140
Dichte (kg/l)	1,62	1,46	1,32	0,80	0,75	0,73
Verdunstungszahl (Ether = 1)	9,5	3	1,8	150	38	9
Flammpunkt	keiner	keiner	keiner	68	40	<0
Gefahrklasse nach VbF	–	–	–	A III	A II	A I

Die chlorierten Lösemittel neigen in ihrer reinen Form zur Zersetzung aufgrund chemischer Reaktionen, z. B. mit Wasser oder Leichtmetallen. Für den Einsatz als Reinigungslösemittel ist daher eine Stabilisierung erforderlich. Unterschiedliche physikalische Eigenschaften und unterschiedliches Reaktionsvermögen der einzelnen chlorierten Lösemittel bedingen dabei den Einsatz unterschiedlicher Stabilisatorsysteme.

Neben organischen Lösemitteln werden auch wäßrige Medien zur Reinigung eingesetzt, diese werden in Kapitel 4.1 (Vermeidung des Anfalls von gebrauchten Lösemitteln) behandelt.

2.2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen für den Einsatz von Lösemitteln

Der Einsatz von Lösemitteln wird durch verschiedene rechtliche Bestimmungen geregelt, die in Abbildung 2-2 schematisch dargestellt sind und im folgenden im einzelnen betrachtet werden.

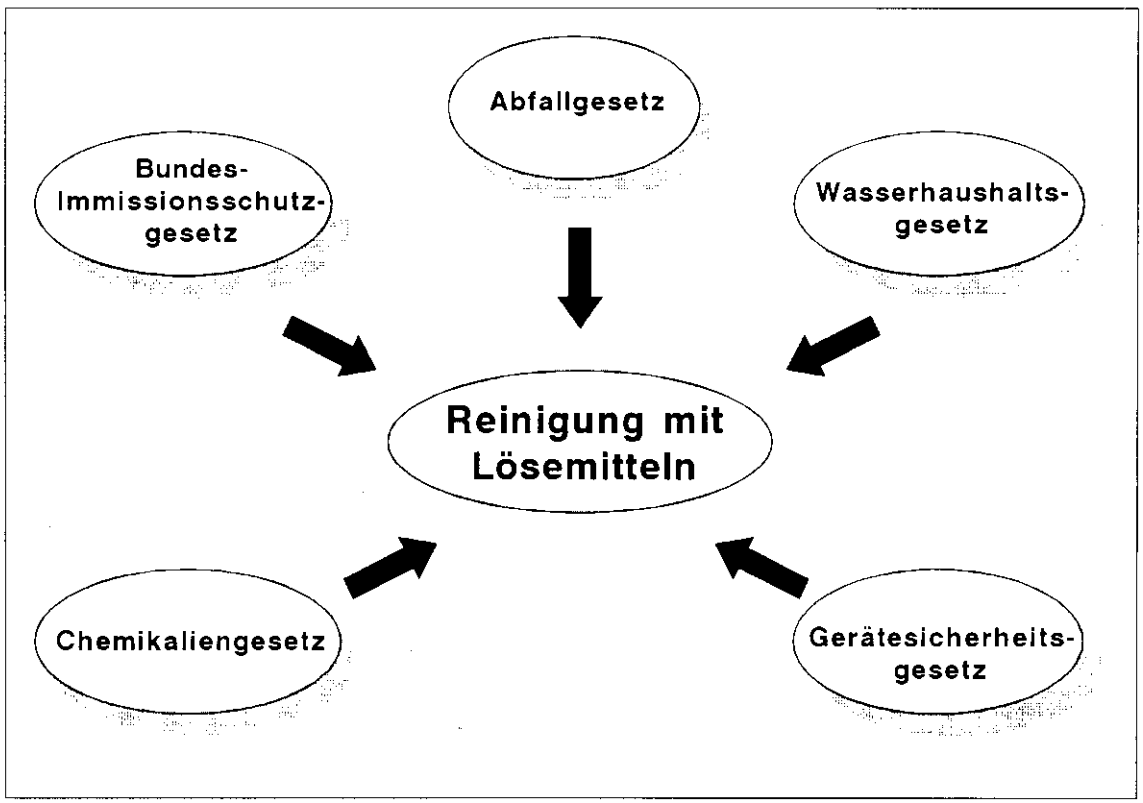


Abb. 2-2: Rechtliche Bestimmungen beim Einsatz von Lösemitteln

Chemikaliengesetz (ChemG)

Mit der auf dem Chemikaliengesetz basierenden Verordnung zum Verbot von bestimmten, die Ozonschicht abbauenden Halogenkohlenwasserstoffen (FCKW-Halon-Verbots-Verordnung) wurde die Verwendung von FCKW, Halonen und 1.1.1-Trichlorethan sowie Tetrachlormethan als Reinigungsmittel praktisch verboten. Ebenfalls auf dem Chemikaliengesetz bzw. der Gefahrstoffverordnung basieren die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), in denen der Schutz vor Gefahrstoffen am Arbeitsplatz erfolgt, so z. B. durch Festlegung von maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (TRGS 900: „MAK-Werte").

Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)

Oberflächenreinigungsanlagen bedürfen in der Regel keiner immissionsschutzrechtlichen Genehmigung (Ausnahme: z. B. Anlagen, die mit organischen Lösemitteln betrieben werden und die zur Aufarbeitung eine Destillation mit einer theoretischen Leistung von 500 kg/h oder mehr besitzen, sind nach Anhang 4.8 zur 4. BImSchV genehmigungsbedürftig).

Auch nicht genehmigungsbedürftige Anlagen sind aber generell so zu betreiben, daß nach dem Stand der Technik vermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden (§ 22 BImSchG).

Bundes- bzw. Landesregierungen können nach § 23 BImSchG Rechtsverordnungen für nicht genehmigungsbedürftige Anlagen erlassen, nach denen die Anlagen bestimmten technischen Anforderungen genügen müssen oder die von den Anlagen ausgehenden Emissionen bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten dürfen. Von dieser Ermächtigung hat die Bundesregierung mit der im folgenden beschriebenen 2. BImSchV Gebrauch gemacht. Weiterhin kann die Genehmigungsbehörde auf Grundlage von § 24 BImSchG auch im Einzelfall Maßnahmen zur Verhinderung schädlicher Umwelteinwirkungen anordnen.

Der Einsatz von **halogenierten Lösemitteln** wird durch die zweite Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen – 2. BImSchV) geregelt. Demnach dürfen ab 1.1.1993 für die Oberflächenreinigung nur noch die Verbindungen Tetrachlorethen („Per"), Trichlorethen („Tri") und Dichlormethan (Methylenchlorid) eingesetzt werden. Weiterhin werden in der Verordnung Anforderungen an die Kapselung von CKW-Reinigungsanlagen und Emissionsgrenzwerte festgelegt (Grenzwert: 20 mg/m^3; Ausnahme: 50 mg/m^3, wenn das Lösemittel zu mehr als 50 % aus Dichlormethan besteht). Für bestehende Altanlagen gelten Übergangsfristen bis spätestens 31.12.1994.

Entwurf der Lösemittelrichtlinie der Europäischen Union

Aufgrund einer europäischen Vereinbarung, die Emissionen flüchtiger organischer Substanzen („VOC") bis zum Jahr 2000 um 30 %, bezogen auf das Jahr 1987, zu reduzieren, wird auf EU-Ebene derzeit eine Richtlinie zur Begrenzung der Emissionen von organischen Lösemitteln erarbeitet. Der 5. Entwurf dieser Richtlinie wurde im Oktober 1993 vorgelegt. Die Richtlinie soll Ende 1994 verabschiedet und innerhalb der folgenden zwei Jahre in bundesdeutsches Recht umgesetzt werden. Ziel ist die Einführung weitergehender Emissionsminderungsmaßnahmen vor allem für kleine und mittelgroße Anlagen, die bislang immissionsschutzrechtlich nicht genehmigungsbedürftig sind, jedoch einen nicht unerheblichen Anteil an den Gesamtemissionen haben. Für diese Anlagen soll ein Genehmigungsverfahren vorgeschrieben werden.

Anlagen zur Oberflächenreinigung werden im Anhang IV der Richtlinie behandelt. Die Genehmigungsbedürftigkeit richtet sich nach zwei Kenngrößen, der nominalen Kapazität und dem jährlichen Gesamtverbrauch einer Anlage. Unter der nominalen Kapazität versteht man dabei den theoretisch möglichen Lösemitteleingang pro Stunde (Auslegungswert); der jährliche Gesamtverbrauch errechnet sich aus der innerhalb eines Jahres tatsächlich verbrauchten Lösemittelmenge. Zurückgewonnene und wiedereingesetzte Lösemittelanteile werden in den Verbrauch nicht eingerechnet. Bei Überschreiten beider Schwellenwerte werden bestimmte Emissionsgrenzwerte einzuhalten sein.

Für alle unter die Richtlinie fallenden Anlagen zur Oberflächenreinigung gilt ein Minimierungsgebot für den Einsatz von organischen Lösemitteln sowie die Pflicht zur Prüfung des Einsatzes lösemittelarmer bzw. -freier Substanzen unter Berücksichtigung ihrer Einwirkungen auf Luft, Wasser, Boden und Gesundheit. Weiterhin sind jährlich betriebliche Lösemittelbilanzen (sogenannter Lösemittel-Management-Plan) zu erstellen, deren Umfang von der Art der eingesetzten Lösemittel, der nominalen Kapazität und dem jährlichen Verbrauch abhängt. Die diffus emittierte Lösemittelmenge darf einen bestimmten Prozentsatz der eingesetzten Lösemittelmenge nicht überschreiten. Werden in offen betriebenen Anlagen Reinigungssubstanzen mit einem Anteil von mehr als 15 % an organischen Lösemitteln eingesetzt, ist der Behörde ausführlich zu erläutern, warum ein geschlossener Betrieb nicht möglich ist. Für die Reinigung verunreinigter Lösemittel dürfen nur regenerierbare Filter verwendet werden.

Abfallgesetz (AbfG)

Die Entsorgung von gebrauchten Lösemitteln wird über auf dem Abfallgesetz basierende Verordnungen geregelt (der Begriff Entsorgung im Sinne des Abfallgesetzes umfaßt sowohl die Verwertung als auch die Beseitigung). In der Abfallbestimmungs-Verordnung (AbfBestV) und der Reststoffbestimmungs-Verordnung (RestBestV) sind die besonders überwachungsbedürftigen Abfälle bzw. Reststoffe aufgelistet und durch Zuordnung von Schlüsselnummern und Herkunftsbereichen näher definiert. In der Abfall- und Reststoffüberwachungs-Verordnung (AbfRestÜberwV) wird der Nachweis über die Zulässigkeit der vorgesehenen Beseitigung bzw. der vorgesehenen Verwertung (Begleitscheinverfahren) geregelt. In der zugehörigen Verwaltungsvorschrift (VwV-AbfRestÜberwV) wird unter anderem festgelegt, daß die Entsorgungsnachweise für lösemittelhaltige Abfälle auf zwei Jahre zu befristen sind und eine neue Entsorgungsbestätigung nur dann erteilt wird, wenn anhand von Verfahrensunterlagen dargelegt wird, weshalb die Abfälle nicht vermindert oder verwertet werden können. Darüber hinaus ist ein Verwertungskonzept vorzulegen, in dem die angestrebte Verwertungstechnik, der Realisierungszeitraum und der erwartete Reduzierungsgrad dargestellt werden. Für bestimmte lösemittelhaltige Reststoffe ist die Nachweispflicht über die Zulässigkeit der vorgesehenen Verwertung durch die zuständige Abfallrechtsbehörde anzuordnen (diese nachweispflichtigen Reststoffe sind in Kapitel 3 aufgeführt). Die Abfallverbringungs-Verordnung (AbfVerbrV) enthält die Bestimmungen für Export, Import und Transit von Abfällen.

In der Verordnung über die Entsorgung gebrauchter halogenierter Lösemittel (HKWAbfV) sind die Getrennthaltung und das Vermischungsverbot von HKW (z. B. Trichlorethen, Tetrachlorethen) sowie die Rücknahmeverpflichtung durch den Vertreiber festgeschrieben.

Über Verordnungen zum baden-württembergischen Landesabfallgesetz (LAbfG) wird weiter festgelegt, daß für bestimmte halogenhaltige Lösemittelabfälle (s. Kap. 3) in einer Menge über 500 kg/a/Abfallart eine Andienungspflicht bei der Sonderabfallentsorgung Baden-Württemberg GmbH (SBW) besteht.

Ebenfalls auf Landesebene erfolgt die Festlegung der Abfallabgabe nach dem Landesabfallabgabengesetz. Von der Abgabepflicht ausgenommen sind Erzeuger, bei denen jährlich nicht mehr als insgesamt 500 kg der besonders überwachungsbedürftigen Abfälle anfallen. Die Abfallarten werden dabei in drei Kategorien eingeteilt:

- Kategorie 1: 100 DM je angefangene Tonne
- Kategorie 2: 200 DM je angefangene Tonne
- Kategorie 3: 300 DM je angefangene Tonne

Die Zuordnung verschiedener Lösemittelabfälle zu den Kategorien erfolgt in Kapitel 3.

Wasserhaushaltsgesetz (WHG)

Das Wasserhaushaltsgesetz (§ 7a Abs. 1) stellt an das Einleiten von Abwasser mit gefährlichen Inhaltsstoffen Reinigungsanforderungen nach dem Stand der Technik. Die Herkunftsbereiche dieser Abwässer sind in der Abwasserherkunftsverordnung (AbwHerkV) festgelegt; unter anderem wird die Metallbe- und -verarbeitung als Herkunftsbereich im Sinne des § 7a Abs. 1 bestimmt.

Für Direkteinleiter werden die Anforderungen für den Bereich der Metallbe- und -verarbeitung in Anhang 40 der Rahmen-Abwasser-Verwaltungsvorschrift konkretisiert. Dieser fordert neben der Einhaltung strenger Einleitergrenzwerte in erster Linie Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen im Vorfeld der Abwasserentstehung.

Über die Indirekteinleiterverordnung wird sichergestellt, daß an das Indirekteinleiten von Abwasser mit gefährlichen Stoffen die gleichen Kriterien gestellt werden wie an die Direkteinleitung.

Der Umgang mit wassergefährdenden Stoffen wird in § 19 g WHG geregelt. Die zugehörigen gesetzlichen Vorgaben betreffen Anlagen zum Lagern, Abfüllen, Herstellen, Behandeln und Verwenden bestimmter wassergefährdender Stoffe, zu denen auch Lösemittel gehören. Die Einteilung der Stoffe in die vier Wassergefährdungsklassen WGK 0 bis WGK 3 wird in einer Verwaltungsvorschrift geregelt. An solche Anlagen stellt das WHG hinsichtlich Bau, Betrieb und Instandhaltung besondere Anforderungen, die dem „Besorgnisgrundsatz" Rechnung zu tragen haben.

Gerätesicherheitsgesetz

Auf Grundlage des Gerätesicherheitsgesetz regelt die Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (VbF) die Einteilung und Definition brennbarer Flüssigkeiten (Gefahrenklassen A I, A II, A III, B). Der Flammpunkt und die Wasserlöslichkeit sind hierbei die wesentlichen Kriterien. Weiterhin werden die technischen Anforderungen an Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Befördern festgelegt.

2.2.3 Einsatzbereiche von Lösemitteln

Grundsätzlich können Lösemittel nur für solche Werkstoffe eingesetzt werden, die gegen das verwendete Lösemittel beständig sind. Metalle können mit allen gängigen Lösemitteln gereinigt werden, dagegen werden Kunststoffe oder lackierte Oberflächen durch viele Lösemittel angegriffen.

Eine allgemeingültige Zuordnung von Lösemitteln bzw. Lösemittelgruppen zu Reinigungsaufgaben ist nicht möglich, da die Eignung eines Lösemittels durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflußt wird, die unabhängig von der eigentlichen Reinigungsaufgabe (s. Kap. 2.1) sind, wie z. B. verwendete Verfahrenstechnik, Arbeitsplatzbedingungen oder Durchsatzleistungen.

Die Auswahl des eingesetzten Lösemittels erfolgt in der Regel in Zusammenarbeit zwischen Anwender und Lösemittelhersteller/-vertreiber, die über die ausführlichsten Erfahrungen hinsichtlich der Einsatzbereiche ihrer Produkte verfügen. Während bei einfachen Reinigungsaufgaben die Auswahl des geeigneten Lösemittels aufgrund von Erfahrungswerten erfolgen kann, ist bei komplizierteren Reinigungsaufgaben häufig die Durchführung von Versuchen erforderlich. Die Durchführung von Versuchen wird zum Teil von Lösemittelherstellern/-vertreibern als Service- bzw. Dienstleistung angeboten. Die Versuche beziehen sich sowohl auf die zu reinigenden Teile (z. B. Veränderung der Oberflächeneigenschaften durch das Lösemittel) als auch auf die zu entfernenden Verunreinigungen (z. B. Veränderungen der Reinigungsleistung durch Einsatz anderer Hilfsstoffe).

Für spezielle Reinigungsaufgaben, die nicht mit standardmäßig verfügbaren Lösemitteln erfüllt werden können, bieten einige Lösemittelhersteller/-vertreiber die Entwicklung von problemspezifischen Lösemitteln an. Hierbei handelt es sich häufig um Mischungen aus verschiedenen Lösemitteln.

Bei Einsatz von automatisierten Reinigungsverfahren wird die Lösemittelauswahl zusätzlich von der eingesetzten Verfahrenstechnik bestimmt. Die Anlagenhersteller bieten ihre Reinigungsverfahren zum Teil in Abstimmung mit bestimmten Lösemitteln bzw. Lösemittelqualitäten an.

2.3 Die Reinigungsverfahren

Die Reinigungsverfahren können anhand der in Abbildung 2-3 schematisch dargestellten Einflußparameter charakterisiert werden.

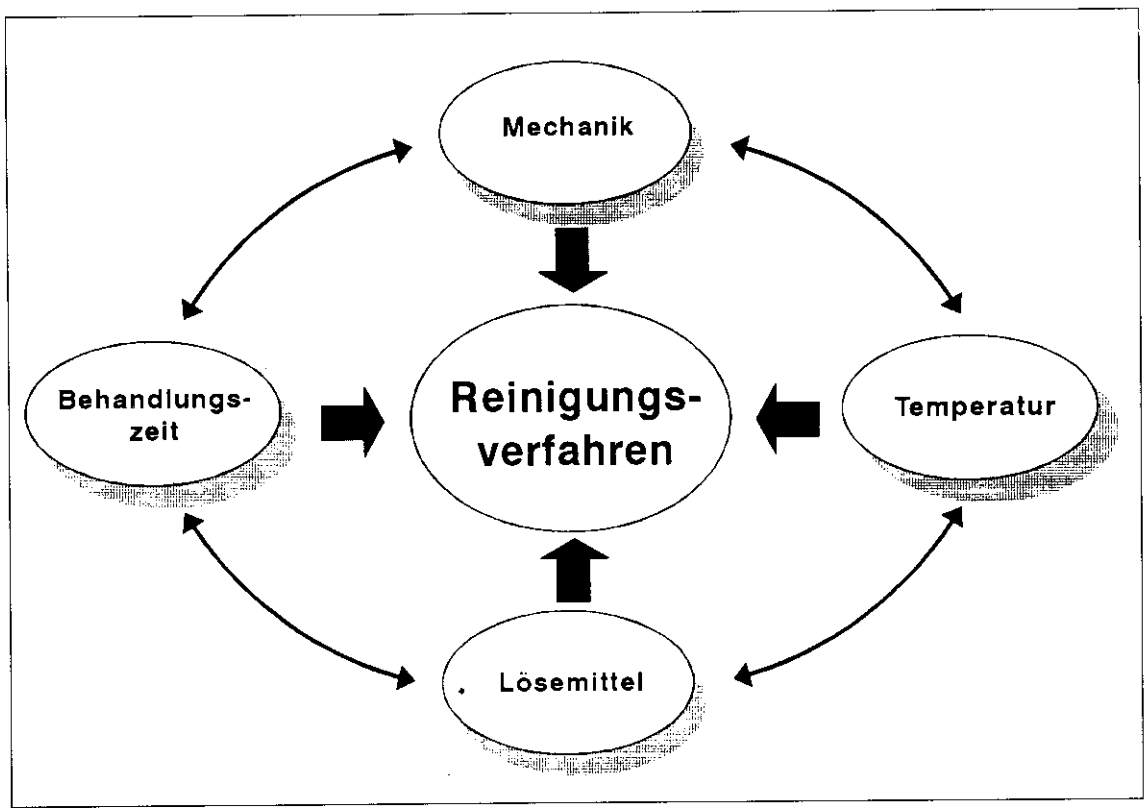


Abb. 2-3: Verfahrenstechnische Parameter bei der Reinigung

Die aufgeführten Einflußparameter sind voneinander abhängige Größen, wobei zur Erzielung eines geforderten Reinigungsergebnisses eine Verminderung der einen Größe in der Regel durch Erhöhung einer anderen ausgeglichen werden muß. Die Wahlfreiheit bei der Kombination der Einflußparameter wird durch folgende Bedingungen beschränkt:

- Die Behandlungszeit wird bei feststehender Anlagenkonfiguration durch die erforderliche Durchsatzleistung vorgegeben.
- Die Mechanik wird durch die Werkstückempfindlichkeit bestimmt.
- Die Temperatur wird durch Brandschutzvorgaben und Emissionsgrenzwerte beschränkt.
- Das Lösemittel wird durch die Art der Verunreinigung und die Materialeigenschaften der zu reinigenden Teile bestimmt.

2.3.1 Manuelle Reinigung

Die manuelle Reinigung mit Lösemitteln geschieht meist in einfachen Gefäßen oder Waschständen direkt am Arbeitsplatz. Zur mechanischen Unterstützung der Reinigung werden zum Auftrag des Lösemittels Pinsel oder Lappen verwendet. Die Reinigung von größeren Teilen kann in Waschkabinen durch Abspritzen bzw. Abreiben mit Lösemitteln erfolgen. Kleinere Teile werden zur Verlängerung der Einwirkzeit häufig in Lösemittel eingelegt.

Nach dem Verbot der offenen Handhabung von CKW werden heute vor allem Kohlenwasserstoffe mit hohem Flammpunkt eingesetzt. Die Reinigung von Geräten und Apparaten im Bereich der Lackierung (Spritzpistolen, Behälter) wird vorwiegend mit den auch als Verdünner der entsprechenden Lacke verwendeten Lösemitteln durchgeführt.

2.3.2 Automatisierte Reinigungsverfahren

In automatisierten Verfahren können verschiedene mechanische Reinigungsverfahrensschritte miteinander kombiniert werden. In modernen Anlagen erlauben speicherprogrammierbare Steuerungen eine Vielzahl von Reinigungsprogrammen, mit denen die Einflußparameter Zeit und Temperatur optimal auf die Reinigungsaufgabe abgestimmt werden können. Im folgenden werden die einzelnen mechanischen Reinigungsverfahrensschritte dargestellt.

Das **Tauchen** stellt die einfachste Verfahrenskomponente bei der Teilereinigung dar. Die Entfernung der Verunreinigung erfolgt im wesentlichen durch relativ langsame Diffusionsvorgänge. Die Effektivität der Tauchreinigung wird daher häufig durch zusätzliche Maßnahmen wie Rotieren in einer Trommel oder Auf- und Absenken an einem Gestell gesteigert. Durch Reihenschaltung von mehreren Tauchbecken lassen sich die Verfahrenskombinationen und somit die Reinigungsergebnisse weiter optimieren. Je nach Temperatur des Lösemittels kann zwischen Heißtauchen und Kalttauchen unterschieden werden. Das Heißtauchen wird insbesondere zur Fettentfernung angewendet, das Kalttauchen zur Entfernung von Emulsionen und Wasser. Die Reinigungswirkung bei der Tauchreinigung kann durch die Einbringung von Ultraschallenergie gesteigert werden. Hierbei werden durch Kavitationseffekte, die aufgrund der eingebrachten Druckschwankungen entstehen, Verunreinigungen von den zu reinigenden Teilen abgerissen. Die Ultraschallreinigung eignet sich insbesondere für die Entfernung von Polier- und Schleifmitteln sowie von Spänen. Voraussetzung für die effektive Nutzung dieser Technik ist die Entgasung des Lösemittels.

Beim **Fluten** werden die zu reinigenden Teile nicht bewegt, das Tauchbad wird über Pumpen umgewälzt. Die Steigerung der Reinigungswirkung erfolgt durch die Bewegungsenergie des Lösemittels, das größere Partikel wegschwemmt und zugleich einen verbesserten Stoffaustausch und damit eine verbesserte Löslichkeit der Verschmutzungen bewirkt. Diese Effekte sind jedoch bei schlecht zugänglichen Stellen des zu reinigenden Teils herabgesetzt. Eine Weiterentwicklung stellt das Injektionsfluten und das Druckumfluten dar. Hierbei wird das Reinigungsgut mit Lösemittel unter intensivem Flutdruck (5 bis 20 bar) gereinigt, so daß auch schwer zugängliche Stellen des Reinigungsguts (z. B. Hohlräume, Sacklochbohrungen) ausgespült werden.

Beim **Spritzen** trägt die mechanisch übertragene Energie zusätzlich zur Reinigung bei. Das Reinigungsergebnis bei der Spritzreinigung hängt maßgeblich von der Abstimmung zwischen der Anordnung der Spritzdüsen und der Teilegeometrie ab. Einschränkungen für das Spritzen bestehen, wenn verdeckte Stellen der zu reinigenden Teile nicht erreicht werden können (Spritzschatten). Das Abspritzen von Teilen mit frischem Lösemittel kann auch als Zwischenreinigungsschritt zur Verminderung von Verschleppungen zwischen verschiedenen Behandlungsstufen erfolgen. Weiterhin ist durch das Spritzen mit frischem Lösemittel eine Erhöhung des Reinigungsgrads erzielbar, da keine Rückverschmutzung des Reinigungsguts durch verunreinigtes Lösemittel auftreten kann.

In **Tauch-, Flut- und Spritzverfahren** werden sowohl chlorierte als auch nicht chlorierte Lösemittel eingesetzt. Nicht chlorierte Lösemittel werden aus Brandschutzgründen bevorzugt in Tauchverfahren eingesetzt. Bei Substanzen mit Flammpunkt bis 40 °C oder beim Versprühen sind ex-geschützte Anlagen erforderlich, die vergleichsweise ho-

he Investitionen bedingen. Aus diesen Gründen werden hauptsächlich Stoffe mit hohem Siedepunkt eingesetzt.

Beim **Dampfentfetten** wird das Lösemittel auf den Siedepunkt erhitzt, die Lösemitteldämpfe kondensieren an den kälteren, über der Flüssigphase befindlichen Werkstücken. Bei der Kondensation des Lösemittels werden Öl- und Fettverunreinigungen abgelöst. Ein Vorteil dieses Verfahrens ist darin zu sehen, daß die Teile immer mit reinem Lösemittel in Berührung kommen und deshalb sehr saubere Oberflächen erzeugt werden. Der Reinigungseffekt ist beendet, wenn das Teil die Temperatur des Lösemitteldampfes erreicht hat und keine Kondensation mehr stattfindet. Die Dampfentfettung wird aus Brandschutzgründen hauptsächlich mit chlorierten Kohlenwasserstoffen durchgeführt, die einen niedrigen Siedepunkt und eine niedrige Kondensationsenthalpie besitzen. Bei Verwendung von leichtflüchtigen brennbaren Lösemitteln (z. B. Aceton, Hexan) sind explosionsgeschützte Anlagen erforderlich, die in den Investitionen entsprechend höher liegen.

In der **Trocknung** werden die Lösemittelreste aus dem Reinigungsvorgang von den gereinigten Teilen entfernt. Die Trocknung erfolgt bei leichtflüchtigen Lösemitteln bei Normaldruck und Raumtemperatur. Bei schwerflüchtigen Lösemitteln kann die Trocknung durch Vorwärmen der Trocknungsluft oder Anlegen eines Vakuums unterstützt werden.

2.4 Abgas- und Abwasserbehandlung

2.4.1 Abgasbehandlung

Die Minderung von Emissionen kann prinzipiell durch den Einsatz von

– gekapselten Anlagen und
  Abgasreinigungsanlagen

erzielt werden. Heute werden Anlagen angeboten, bei denen eine vollständige Anlagenkapselung (mit Teilezufuhr und -entnahme über Schleusensystem) kombiniert ist mit einer Kreislaufführung der Prozeßluft mit integrierter Umluftreinigung und Rückführung der abgeschiedenen Lösemittel innerhalb der Anlage.

Nicht chlorierte Lösemittel

Reinigungsanlagen, in denen nicht chlorierte Lösemittel eingesetzt werden, verfügen häufig über keine Abgasreinigung bzw. nur über einen Tropfenabscheider. Die entstehenden Lösemittelemissionen entweichen entweder in die Raumluft oder werden gezielt über Dach abgeleitet.

Die Kondensation von leichtflüchtigen Lösemitteln erfolgt häufig in Kühlfallen. Bei den weitverbreiteten, höher siedenden Kohlenwasserstoffen (A III nach VbF) ist diese Form der Abgasbehandlung noch weniger verbreitet. Einige Hersteller bieten jedoch bereits A III-Reinigungsanlagen mit entsprechender Abgasreinigung an.

Da Reinigungsanlagen in der Regel keiner immissionsschutzrechtlichen Genehmigung bedürfen, fallen sie damit nicht in den Anwendungsbereich der TA Luft. Im Hinblick auf die europäische Vereinbarung zur Reduzierung der VOC-Emissionen (s. Kap. 2.2.2) ist längerfristig auch bei Einsatz nicht chlorierter Lösemittel mit einer Verschärfung der gesetzlichen Emissionsvorgaben zu rechnen.

Es ist deshalb sinnvoll, sich bei Anschaffung von Neuanlagen auf Kohlenwasserstoff-Basis an den Anforderungen der TA Luft zu orientieren, da sie gewissermaßen den Stand der Technik vorgibt. Nach TA Luft sind bei Lösemittelmassenströmen von mehr als 3 kg/h in der Abluft Kohlenwasserstoffkonzentrationen von maximal 150 mg/m^3 (bezogen auf Kohlenstoff 50 mg/m^3) zulässig.

Chlorierte Lösemittel

Nach der 2. BImSchV müssen CKW-Reinigungsanlagen vollständig gekapselt sein, die Zuführung und Entnahme der zu reinigenden Teile erfolgt über Schleusensysteme. Zur Minimierung der Abgasmengen wird die Trocknungsluft weitgehend im Kreislauf geführt, die enthaltenen Lösemittel werden auskondensiert.

Für die Abgasreinigung bei Anlagen mit chlorierten Lösemitteln wird im allgemeinen die Adsorption an Aktivkohle mit Regeneration der Aktivkohle mittels Wasserdampf und anschließender Kondensation des Wasserdampf/Lösemittelgemisches eingesetzt. Hierbei fällt CKW-belastetes Abwasser an. Dieses kann entweder im Kreislauf gefahren werden oder muß einer Behandlung zugeführt werden. Als abwasserfreie Alternative kommt die Regeneration der Aktivkohle mit Inertgas oder Heißluft und anschließende Kondensation der Lösemittel an einer Kühlfalle in Frage. Weiterhin ist die Adsorption von chlorierten Lösemitteln an Adsorberharzen bzw. Molekularsieben und anschließende Desorption unter Vakuum bzw. mit Heißgas möglich.

Zur Abgasreinigung von kleineren CKW-Reinigungsanlagen werden auch mobile Aktivkohlewechselfilter (in 60- bzw. 200-l-Edelstahlbehältern mit den erforderlichen Anschlüssen zur Luftzufuhr und -abfuhr) angeboten, die nach Sättigung mit Lösemitteln extern über einen Recyclingbetrieb aufgearbeitet werden können. Bei Verwendung mobiler Wechselfilter ist durch meßtechnische Überwachung eine Verriegelung der Anlage bei Erreichen der zulässigen Abgasgrenzwerte sicherzustellen.

2.4.2 Abwasserbehandlung

Eine Abwasserbehandlung erfolgt ausschließlich bei CKW-Reinigungsanlagen. Das CKW-verunreinigte Wasser stammt aus der Desorption der Aktivkohle mit Wasserdampf bzw. aus dem Wasser, das über die zu reinigenden Teile und die Luftfeuchtigkeit eingetragen wurde. Zur Reinigung des mit CKW verunreinigten Abwassers werden eingesetzt:

- Stripverfahren, z. B. mittels Grenzschichtverdampfer, oder
- Adsorptionsverfahren mit Aktivkohle

Bei Stripverfahren werden die chlorierten Lösemittel mit Dampf oder Luft aus der wäßrigen Phase ausgestrippt, und die lösemittelhaltige Gasphase wird über ein Aktivkohlefilter abgeleitet. Hierbei sind CKW-Restkonzentrationen von 1 mg/l erreichbar.

Beim Adsorptionsverfahren wird das CKW-haltige Abwasser in der Regel über mehrere hintereinandergeschaltete Festbettmodule geleitet. Mit Aktivkohlefiltern kann das Abwasser auf Restkonzentrationen von unter 0,1 mg CKW/l gereinigt werden.

3 Reststoffe aus der Reinigung mit Lösemitteln

3.1 Reststoffe beim Einsatz chlorierter Lösemittel

3.1.1 Bezeichnungen nach TA Abfall

In Tabelle 3-1 sind für die üblicherweise bei der Reinigung eingesetzten chlorierten Lösemittel die Bezeichnungen und Herkunftsbereiche entsprechend Anhang C der TA Abfall aufgeführt. Darüber hinaus sind abfall- bzw. reststoffspezifische Angaben zur Abfallabgabe, zur Andienungspflicht sowie zur Nachweispflicht von Reststoffen aufgeführt, je nachdem ob eine Entsorgung als Abfall oder eine Verwertung als Reststoff erfolgt.

Tab. 3-1: Chlorierte Lösemittel aus der Teilereinigung (nach TA Abfall)

Abfall- / Reststoff-schlüssel	Bezeichnung	Herkunft	Aa[1]		Ap[2]		nR[3]
			Reststt.	Abf.	Reststt.	Abf.	
55206	Dichlormethan	Chemische Industrie, Textilindustrie, Oberflächenbehandlung, Entlackung, Kunststoffverarbeitung	nein	3	nein	ja	ja
55209	Tetrachlorethen (Per)	Chemische Industrie, Textilindustrie, Chemische Reinigung, Oberflächenbehandlung	nein	3	nein	ja	ja
55213	Trichlorethen (Tri)	Chemische Industrie, Textilindustrie, Chemische Reinigung, Oberflächenbehandlung	nein	3	nein	ja	ja
55220	Lösemittel-gemische, halo-genierte organi-sche Lösemittel enthaltend	Chemische Industrie, Gewerbliche Wirtschaft	nein	3	nein	ja	ja

[1] Abfallabgabe, Angabe der Kategorie nach Kapitel 2.2.2 (bei Entsorgung als Abfall)
[2] Andienungspflicht
[3] nachweispflichtiger Reststoff

3.1.2 Anfallbedingungen

Seit dem Verbot der offenen Anwendung von CKW fallen chlorierte Lösemittel nur noch aus Reinigungsanlagen an. Der weitaus größte Teil stammt aus dem Reinigungsteil der Anlage, nur ein geringer Teil der chlorierten Lösemittel fällt als Desorbat aus der Abgasreinigung an Aktivkohlefiltern an.

Die Lösemittelfüllung von Reinigungsanlagen ohne interne Aufbereitungsmaßnahmen wird üblicherweise im Abstand von einigen Wochen bis einigen Monaten vollständig gegen frisches Lösemittel ausgetauscht. Die Häufigkeit des Lösemittelwechsels hängt von den in Kapitel 2 beschriebenen Faktoren ab:

- Art und Menge der durch die zu reinigenden Teile eingetragenen Verunreinigungen
- Aufnahmevermögen des Lösemittels für die Verunreinigungen
- Verfahrenstechnik der Anlage und Überwachung/Pflege des Reinigungsmittels

Bei chlorierten Kohlenwasserstoffen wird der Zeitpunkt des Lösemittelwechsels häufig über den Stabilisierungsgrad des Lösemittels bestimmt. Durch Lösemittelkontrolle und Lösemittelpflege (durch Nachdosieren von Stabilisatoren) können die Austauschintervalle wesentlich verlängert werden.

Außer beim vollständigen Austausch fallen gebrauchte chlorierte Lösemittel auch als Sumpf von Destillationsanlagen an, die in die Reinigungsanlagen integriert sind. Diese Destillationsanlagen dienen zur Erhöhung der Reinigungsqualität und zur Standzeitverlängerung des Lösemittels. Die im Lösemittel enthaltenen Öle und Fette sammeln sich im Destillationssumpf an, wodurch die Destillationstemperatur allmählich ansteigt. Um die thermische Zersetzung des Lösemittels zu vermeiden, muß die Destillation bei einer bestimmten lösemittelspezifischen Temperatur abgebrochen und der Sumpf entsorgt werden.

Je nach Gehalt an Lösemittel und Konsistenz wird dieser Destillationssumpf entweder mit der Schlüsselnummer des entsprechenden Lösemittels, als lösemittelhaltiger Schlamm oder als lösemittelhaltiger Destillationsrückstand gekennzeichnet. Die Grenzen dieser Einteilung sind in der Praxis häufig fließend.

3.1.3 Derzeitige Verwertung/Entsorgung

Die verunreinigten Lösemittel können durch Destillation bzw. Rektifikation aufbereitet werden. Sofern Reststoffe in ausreichend großen Mengen anfallen, kann dies in einer speziellen Destillationsanlage direkt beim Abfallerzeuger erfolgen. In den meisten Fällen werden aber die gebrauchten Lösemittel zur Verwertung an externe Destillateure abgegeben.

Die destillative Aufarbeitung von CKW ist aufgrund der niedrigen Siedepunkte und des überwiegenden Einsatzes von Einzelstoffen problemlos. Stabilisatoren, die nach der Destillation ergänzt werden müssen, sind in den meisten Fällen auf dem Markt verfügbar. Die Verordnung über die Entsorgung gebrauchter halogenierter Lösemittel (HKWAbfV) schreibt neben der Getrennthaltung einzelner Lösemittel auch die Rücknahmepflicht der Vertreiber von Lösemitteln vor. Darüber hinaus ist die Beseitigung chlorierter Lösemittel als Sonderabfall in einer entsprechenden Verbrennungsanlage sehr teuer, so daß die Aufarbeitung meist wirtschaftlich lohnender ist.

Im Fall der Lohnregenerierung werden die aufbereiteten Lösemittel wieder direkt in der Anwendung des Herkunftsbereichs verwendet. Der herkunftsunabhängige Wiedereinsatz rezyklierter CKW ist zur Zeit teilweise noch mit Schwierigkeiten verbunden. Allgemeine Qualitätsanforderungen an Regenerate existieren derzeit nur für Tetrachlorethen (Per) nach DIN 53 978; einige Anlagenhersteller schränken zudem die Garantie auf die von ihnen gelieferten Reinigungsanlagen ein, sofern diese mit aufgearbeiteten Lösemitteln betrieben werden. Ein Teil der CKW-Regenerate wird daher gegenwärtig im Ausland vermarktet.

Die ausführliche Darstellung der Verwertungsmöglichkeiten findet sich in Kapitel 4.

3.2 Reststoffe beim Einsatz nicht chlorierter Lösemittel

3.2.1 Bezeichnungen nach TA Abfall

In Tabelle 3-2 sind für die üblicherweise bei der Reinigung eingesetzten nicht chlorierten Lösemittel die Bezeichnungen und Herkunftsbereiche entsprechend Anhang C der TA Abfall aufgeführt. Darüber hinaus sind abfall- bzw. reststoffspezifische Angaben zur Abfallabgabe, zur Andienungspflicht sowie zur Nachweispflicht von Reststoffen aufgeführt, je nachdem ob eine Entsorgung als Abfall oder eine Verwertung als Reststoff erfolgt.

Tab. 3-2: Nicht chlorierte Lösemittel aus der Teilereinigung (nach TA Abfall)

Abfall-/ Reststoff-schlüssel	Bezeichnung	Herkunft	Aa[1] Reststt.	Aa[1] Abf.	Ap[2]	nR[3]
55306	Benzol, Toluol oder Xylole	Chemische Industrie, Oberflächenbehandlung, Petrochemie, Kokereien	nein	3	nein	ja
55326	Waschbenzin, Petrolether, Ligroin, Testbenzin	Oberflächenbehandlung, Chemische Industrie, Herstellung von Anstrichmitteln	nein	3	nein	nein
55357	Kaltreiniger, frei von halogenierten organischen Lösemitteln	Metallverarbeitung, Gewerbliche Wirtschaft	nein	2	nein	ja
55359	Farb- und Lackverdünner (Nitroverdünner)	Oberflächenbehandlung, Chemische Industrie, Herstellung und Anwendung von Anstrichmitteln, Kunststoffverarbeitung	nein	2	nein	ja
55360	Petroleum	Oberflächenbehandlung, Gewerbliche Wirtschaft	nein	2	nein	nein
55370	Lösemittelgemische ohne halogenierte organische Lösemittel	Chemische Industrie, Gewerbliche Wirtschaft	nein	3	nein	ja

[1] Abfallabgabe, Angabe der Kategorie nach Kapitel 2.2.2 (bei Entsorgung als Abfall)
[2] Andienungspflicht
[3] nachweispflichtiger Reststoff

3.2.2 Anfallbedingungen

Die Lösemittelfüllung von Reinigungsanlagen muß im Abstand von einigen Wochen bis einigen Monaten gegen frisches Lösemittel ausgetauscht werden. Die als Reststoffe insgesamt anfallenden Lösemittelmengen hängen von den in Kapitel 3.1.2 beschriebenen Faktoren ab. Der Austausch erfolgt bei Erschöpfung der Reinigungskraft des Lösemittels, die meist über eine Kontrolle des Reinigungsergebnisses bestimmt wird. Während des Gebrauchs findet im allgemeinen keine Lösemittelpflege statt.

3.2.3 Derzeitige Verwertung/Entsorgung

Von den nicht chlorierten Lösemitteln wird gegenwärtig nur ein geringerer Anteil (verglichen mit den chlorierten Lösemitteln) einer stofflichen Verwertung zugeführt. Ein Grund für den geringeren Anteil der stofflichen Verwertung bei den nicht chlorierten Lösemitteln ist darin zu sehen, daß häufig Lösemittelgemische eingesetzt werden, die von den Herstellern als fertige Produkte angeboten werden. Diese Lösemittelgemische sind zum Teil destillativ nicht oder nur mit sehr großem Aufwand zu reinigen. Darüber hinaus werden Komponenten der Gemische, die bei der Destillation im Sumpf zurückbleiben, von den Herstellern nicht als Einzelsubstanzen angeboten, so daß die originale Zusammensetzung nicht wieder herzustellen ist. Weiterhin müssen für hochsiedende Stoffe technisch aufwendigere Anlagen zur Vakuumdestillation eingesetzt werden.

Ein weiterer wichtiger Grund liegt jedoch in der Konkurrenz der thermischen zur stofflichen Nutzung. Aufgrund des hohen Brennwertes wird ein Großteil der Kohlenwasserstoffgemische einer thermischen Nutzung zugeführt.

3.3 Lösemittelhaltige Schlämme

3.3.1 Bezeichnungen nach TA Abfall

In Tabelle 3-3 sind für lösemittelhaltige Schlämme, die aus der Reinigung stammen, die Bezeichnungen und Herkunftsbereiche entsprechend Anhang C der TA Abfall aufgeführt. Darüber hinaus sind abfall- bzw. reststoffspezifische Angaben zur Abfallabgabe, zur Andienungspflicht sowie zur Nachweispflicht von Reststoffen aufgeführt, je nachdem ob eine Entsorgung als Abfall oder eine Verwertung als Reststoff erfolgt.

Tab. 3-3: Lösemittelhaltige Schlämme aus der Teilereinigung (nach TA Abfall)

Abfall-schlüssel	Bezeichnung	Herkunft	Aa[1] Reststt.	Aa[1] Abf.	Ap[2]	nR[3]
55401	Lösemittelhaltige Schlämme mit halogenierten organischen Lösemitteln	Chemische Industrie, Gewerbliche Wirtschaft, Metallverarbeitung	nein	3	nein	ja
55402	Lösemittelhaltige Schlämme ohne halogenierte organische Lösemittel	Chemische Industrie, Gewerbliche Wirtschaft, Metallverarbeitung	nein	3	nein	ja

[1] Abfallabgabe, Angabe der Kategorie nach Kapitel 2.2.2 (bei Entsorgung als Abfall)
[2] Andienungspflicht
[3] nachweispflichtiger Reststoff

3.3.2 Anfallbedingungen

Lösemittelhaltige Schlämme fallen unter anderem aus Destillationsanlagen an, die in Reinigungsanlagen integriert sind. Diese Reststoffe enthalten neben den aufkonzentrierten Verschmutzungen (Öle, Feststoffe) noch größere Mengen des aufdestillierten Lösemittels. Bei chlorierten Lösemitteln liegen die Anteile von aufkonzentrierten Verunreinigungen in den Destillationssümpfen häufig bei ca. 20 bis 30 Vol-%. Die weitere Lö-

semittelrückgewinnung (auf bis zu 50 Vol.-% Ölgehalt) stellt höhere Anforderungen an die Prozeßkontrolle, um die thermische Zersetzung des Lösemittels bei den höheren Siedetemperaturen zu verhindern. Bei Kohlenwasserstoffen aus Reinigungsanlagen liegt der Anteil der Verunreinigungen im Bereich von 10 bis 30 Vol.-%.

Schlämme mit nicht halogenierten Lösemitteln fallen außerdem aus der manuellen Gerätereinigung an (z. B. Reinigung von Spritzpistolen und von Mischgefäßen/Fässern mit Farbresten).

In der Praxis wird die Abgrenzung von lösemittelhaltigen Schlämmen und Lösemitteln selbst sehr unterschiedlich gehandhabt; so werden zum Teil bereits stark verunreinigte, ölhaltige Lösemittel als Schlamm bezeichnet.

3.3.3 Derzeitige Verwertung/Entsorgung

Lösemittelhaltige Schlämme werden überwiegend nicht stofflich verwertet, sondern entweder thermisch verwertet oder in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Für die Rückgewinnung des Lösemittelanteils aus Schlämmen sind spezielle Anlagen (z. B. Dünnschichtverdampfer) erforderlich. Hierbei sinkt die Qualität des Regenerats bei höherem Rückgewinnungsgrad, während die Kosten der Rückgewinnung steigen. Bei einer weitergehenden Lösemittelrückgewinnung aus Schlämmen fallen darüber hinaus pastöse Rückstände an. Aufgrund von Entsorgungsengpässen für zu verbrennende Feststoffe sind diese oft schwieriger und teurer zu entsorgen als die ursprünglichen Schlämme.

4 Möglichkeiten zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von gebrauchten Lösemittel

Im folgenden werden aufbauend auf den vorhergehenden Kapiteln Möglichkeiten zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von gebrauchten Lösemitteln aus der Reinigung dargestellt. Die hier enthaltenen Informationen sollen einen Überblick über den derzeitigen Stand der Technik geben, sie sollen aber vor allem dem Leser eine schnelle Orientierung für die Beurteilung von Problemstellungen aus der Praxis bieten.

Aus diesem Grund wurde im folgenden die übliche Kapitelstruktur verlassen. Statt dessen wurden den folgenden drei Oberkapiteln jeweils sogenannte **Leitfragen** vorangestellt. Diese strukturieren das Kapitel und ergeben eine kurze Checkliste zur Überprüfung von Möglichkeiten zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von gebrauchten Lösemitteln.

4.1 Vermeidung des Anfalls von gebrauchten Lösemitteln

Im vorliegenden Kapitel wird die Vermeidung von gebrauchten Lösemitteln einerseits durch Reduzieren von Reinigungsvorgängen, andererseits durch die Umstellung des Reinigungsverfahrens behandelt. Bei der zweiten Möglichkeit liegt der Schwerpunkt auf den wäßrigen Verfahren, die den mit Abstand weitesten Einsatzbereich aufweisen. Zusätzlich wird auf die Niederdruckplasmareinigung eingegangen, die völlig ohne den Einsatz eines flüssigen Reinigungsmediums arbeitet, deren Einsatzgebiet jedoch nicht so universell ist wie bei der Reinigung mit Lösemitteln bzw. wäßrigen Reinigungsmedien.

Für die Überprüfung bestehender Vermeidungsmöglichkeiten sollten die folgenden Leitfragen untersucht werden:

Inwieweit ist eine Reinigung zwingend notwendig?

Welche lösemittelfreien Reinigungsverfahren stehen zur Verfügung?

Welche Reststoffe fallen aus wäßrigen Reinigungsverfahren an?

Welche Möglichkeiten bestehen zur Verminderung des Anfalls von verbrauchten wäßrigen Reinigungsmedien?

Welche Reststoffe fallen aus der Niederdruckplasmareinigung an?

Überprüfung der Notwendigkeit von Reinigungsaufgaben

Die Erschließung vorhandener Vermeidungspotentiale setzt eine kritische Überprüfung der Notwendigkeit einer Reinigung bzw. der zugrundeliegenden Qualitätsanforderungen voraus. Die praktische Erfahrung zeigt, daß insbesondere zwischen mechanischen Bearbeitungsschritten (Anforderungen an Öl- und Fettfreiheit gering) zum Teil auf Entfettungsvorgänge ohne merkliche Qualitätseinbußen verzichtet werden kann.

Beispiele zur Einsparung von Reinigungsschritten sind:

- Verzicht auf die Teilereinigung nach einzelnen Arbeitsschritten zugunsten einer Abschlußreinigung vor der Montage
- Verkürzung von Lagerzeiten durch Verbesserung der Logistik oder staubfreie Lagerung und damit Vermeidung der Reinigung von eingestaubten Teilen
- Vermeidung von Behälterreinigungen bei Farbwechseln durch Einsatz von mehreren Vorlagebehältern für die verschiedenen Farben

Ermittlung von Mindest-Reinigungsgraden

Um die Einsatzmengen an Lösemittel auf das tatsächlich notwendige Maß zu begrenzen, sollte sich die Reinigung an den Mindestanforderungen der jeweils nachfolgenden Verfahrensschritte orientieren. So sind z. B. an Teile, die anschließend mechanisch weiterverarbeitet werden, niedrigere Reinigungsanforderungen zu stellen als an Teile, die anschließend lackiert werden. Entsprechend dieser Mindest-Reinigungsgrade kann die Reinigung mit unterschiedlichem Aufwand und Lösemitteleinsatz erfolgen. Die Ermittlung von unterschiedlichen Mindest-Reinigungsgraden kann auch zur Bildung von Reinigungsklassen dienen, wodurch unter Umständen eine Kaskadenführung des Lösemittels und damit eine Reduzierung der benötigten Mengen ermöglicht wird.

Umstellung auf reinigungsfreie Herstellungsverfahren

Durch Umstellung von Verfahrensschritten im Herstellungsprozeß können Reinigungsschritte eingespart werden. Beispiele hierfür sind in Tabelle 4-1 aufgeführt.

Tab. 4-1: Umstellung von Verfahrensschritten zur Vermeidung einer Reinigung

Herstellungsverfahrens-schritte	Reinigung erforderlich	Reinigung nicht erforderlich
Verbinden	Kleben	Schrauben, Nieten
Löten	Löten mit herkömmlichen Flußmitteln	Löten mit Spezial-Flußmitteln, die keine Reinigung erforderlich machen
		Inertgas-Löten
Montieren	ungeschützte Lagerung	staubdichte Lagerung

Wäßrige Reinigungsverfahren

– Verfahrenstechnik

Wäßrige Reinigungsmedien werden zumeist in automatisierten Verfahren eingesetzt, die über die Verfahrensstufen Tauchen (ggf. mit Ultraschallunterstützung), Fluten, Druckfluten, Injektionsfluten, Spritzen und Hochdruckspritzen verfügen können.

Vom Prinzip her handelt es sich hierbei um ähnliche Verfahren wie bei der Reinigung mit Lösemitteln (s. Kap. 2.3). Lediglich das Hochdruckspritzen mit Spritzdrücken über 100 bar wird ausschließlich mit wäßrigen Medien durchgeführt. Die manuelle Reinigung mit wäßrigen Reinigungsmedien kann in Spritzkabinen mit Hochdrucklanzen erfolgen und wird z. B. bei sehr großen Teilen angewendet.

Die Trocknung bei wäßrigen Reinigungsverfahren unterscheidet sich aufgrund der hohen Verdampfungsenthalpie von Wasser deutlich von Reinigungsverfahren auf Lösemittelbasis. Um die erforderlichen Trockenzeiten in einem vergleichbaren Rahmen zu halten, sind ein höherer apparativer Aufwand und Energieeinsatz erforderlich.

Wäßrige Reinigungsverfahren können prinzipiell über die in Abbildung 4-1 schematisch dargestellten Verfahrensstufen verfügen. Die konstruktive Umsetzung der Verfahrensstufen kann in unterschiedlicher Weise erfolgen, so kann bei Einsatz einer Reinigungskammer und mehrerer Vorlagebehälter für die Reinigungs- bzw. Spülmedien der Transport der Werkstücke zwischen den Bädern entfallen.

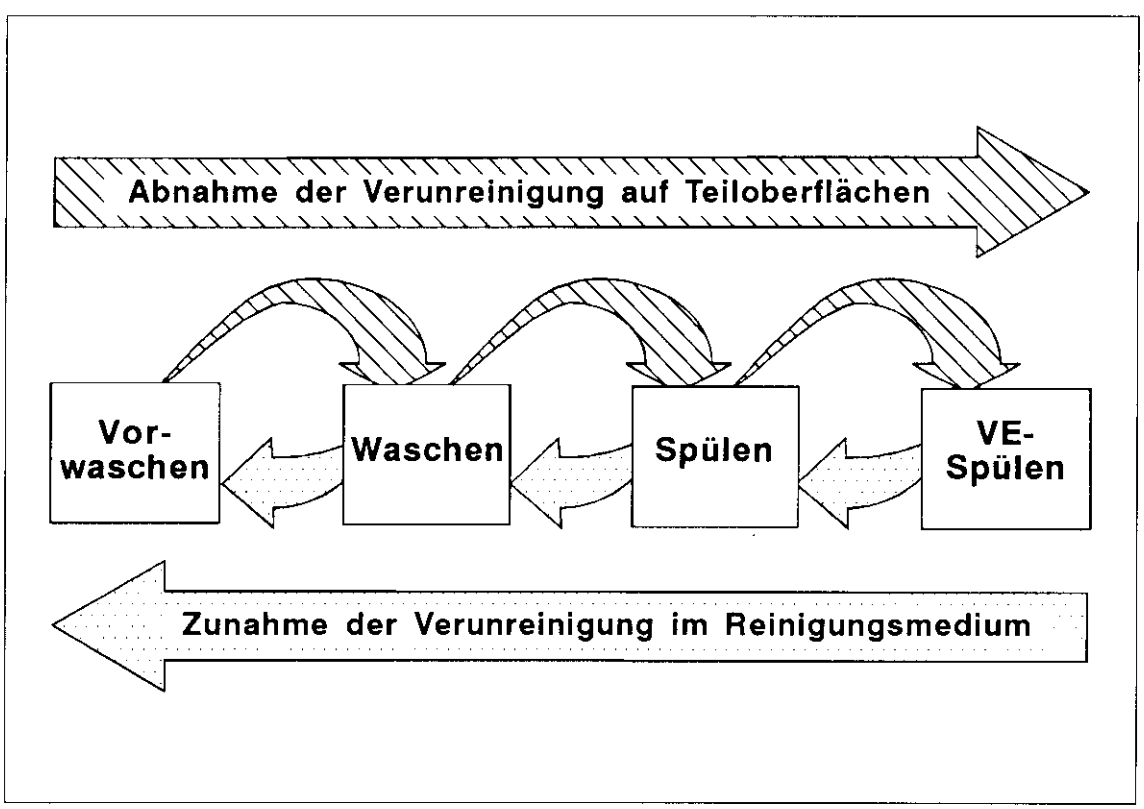


Abb. 4-1: Schematische Darstellung von Verfahrensstufen bei der Reinigung mit wäßrigen Medien (mit Kaskadenführung der Wasch- und Spülmedien)

– Einsatzbereiche

Die Einsatzbereiche für wäßrige Reinigungsverfahren haben sich durch die Entwicklung der letzten Jahre stark erweitert, so daß heute nur noch wenige Reinigungsprobleme zwingend den Einsatz von Lösemitteln erfordern. Wäßrige Systeme besitzen allerdings nicht den universellen Charakter der CKW-Verfahren. Sie erfordern eine sorgfältige Abstimmung sowohl der Anlagen- und Verfahrenstechnik als auch der Reinigerchemie auf das jeweilige Reinigungsproblem und die peripheren Wasseraufbereitungsverfahren. Neben einer ausgezeichneten Entfernung anorganischer Schmutzpartikel kann durch die gezielte Zugabe oberflächenaktiver Reinigerkomponenten auch eine mit Lösemittel vergleichbare oder verbesserte Entfettungswirkung erreicht werden. Die Reinigung komplizierter Geometrien (Sacklöcher, Kleinstbohrungen, Gewinde) oder die Behandlung von Schüttgut erfordert bei Einsatz wäßriger Systeme aufgrund der höheren Oberflächenspannung und Viskosität von Wasser (im Vergleich zu Lösemitteln) allerdings einen erhöhten Aufwand. Großflächige Teile oder Teile, die bei der Reinigung fixiert werden, eignen sich dagegen gut für eine wäßrige Reinigung.

Niederdruckplasmareinigung

– Verfahrenstechnik

Unter Plasma versteht man eine unter hoher Energieeinwirkung vorkommende Zustandsform von Gasen. Es handelt sich hierbei um ein Gemisch aus Ionen, Elektronen und Neutralteilchen. Für die Oberflächenreinigung werden kalte Niederdruckplasmen eingesetzt. Diese werden durch Anlegen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (im Mega- bis Gigaherzbereich) aus Prozeßgasen erzeugt. Dies erfolgt in der Vakuumprozeßkammer bei Drücken im Bereich von 0,01 bis 5 mbar. Als Prozeßgase werden überwiegend umweltneutrale Gase wie z. B. Sauerstoff, Stickstoff, Argon, Helium, Wasserstoff u.a. bzw. Mischungen aus diesen Gasen genutzt. In einigen Fällen werden allerdings zusätzlich fluorhaltige Gase (z. B. Tetrafluormethan) zugesetzt, um den Reinigungsprozeß zu beschleunigen.

Die mit den zu reinigenden Teilen in die Prozeßkammer eingebrachten organischen Stoffe (Öle, Fette) werden an der Werkstückoberfläche zu gasförmigen Reaktionsprodukten umgesetzt. Als Prozeßparameter haben insbesondere die Hochfrequenzleistung, der Gasfluß, die Prozeßzeit und das Prozeßgas Einfluß auf die Reinigungswirkung. Abhängig von den Prozeßparametern erfolgt die Reinigung bei niedrigen Temperaturen (zwischen 20 und 120 °C). Die technische Umsetzung der Einkopplung der elektromagnetischen Felder in die Prozeßkammer bestimmt hierbei maßgeblich die Effizienz des Verfahrens und die Homogenität der Prozeßführung.

– Einsatzbereiche

Der Einsatz der Niederdruckplasmareinigung als eigenständiges Verfahren erfolgt hauptsächlich bei der Entfettung von Teilen, die nicht mit anorganischen Feststoffen verunreinigt sind. Somit kommen insbesondere tiefgezogene oder gestanzte Teile, die frei von Metallpartikeln, anorganischen Salzen etc. sind, für die Reinigung mit Niederdruckplasma in Frage; für die Entfettung werden meist Sauerstoff-Plasmen eingesetzt. Über die Reinigung hinaus werden Plasmen außerdem für die Behandlung von Oberflächen zur Erzielung bestimmter Eigenschaften eingesetzt; hierauf wird im folgenden jedoch nicht weiter eingegangen.

Die organischen Schmutzschichten (Fette, Öle, Wachse, Tenside, Silikone) sollten homogen und durch vorgelagerte Maßnahmen so weit reduziert werden, daß die Schichtdicke der zu entfernenden Verunreinigung im Bereich von wenigen Mikrometern liegt.

Bei stärkerer Verunreinigung sind Kombinationen der Niederdruckplasmareinigung mit anderen Reinigungsverfahren als Vorreinigungsstufe möglich.

Niederdruckplasmareinigungsanlagen sind sowohl bei Kleinanwendungen mit geringen Durchsatzleistungen als auch bei großtechnischen Anlagen mit Durchsatzleistungen von einigen Tonnen pro Stunde einsetzbar.

Welche Reststoffe fallen aus wäßrigen Reinigungsverfahren an?

Verbrauchte Reinigungsmedien

Als Reststoffe aus wäßrigen Reinigungsverfahren fallen die verbrauchten wäßrigen Reinigungsmedien an. Diese setzen sich aus den eingesetzten Reinigungsmedien und den darin enthaltenen Verunreinigungen zusammen.

Es werden neutrale, alkalische und saure Reinigungsmedien eingesetzt. Hierbei kommt eine Vielzahl von speziellen Reinigungslösungen zum Einsatz, die von den Herstellern auf die unterschiedlichen Reinigungsaufgaben abgestimmt werden. Einige allgemeine Angaben zu wäßrigen Reinigungsmedien sind in Tabelle 4-2 aufgeführt.

Tab. 4-2: Angaben zu wäßrigen Reinigungsmedien

Reinigungs-medium	pH-Wert	Mögliche Inhaltsstoffe	Anwendungs-temperatur (°C)
stark alkalisch	11–14	Alkali/Carbonate, Silikate, Phosphate, Komplexbildner, Tenside	> 40
schwach alkalisch	8–11	Phosphate, Borate, Carbonate, Komplexbildner, Tenside	> 40
neutral	7–9	Tenside, Korrosionsinhibitoren, Phosphate, Lösungsvermittler	> 20
schwach sauer	3–6	saure Salze, Tenside	> 20
stark sauer	1–3	Säuren, Tenside, Inhibitoren	> 20

Wäßrige Reinigungsmedien können aufgrund ihrer stofflichen Eigenschaften die zu entfernenden Verunreinigungen binden, emulgieren, verseifen oder über sonstige Mechanismen vom zu reinigenden Teil ablösen. In den verunreinigten Medien kann somit das gesamte Spektrum der in Kapitel 2.1.2 genannten Verunreinigungen enthalten sein.

Das Reinigungsmedium muß vollständig ausgetauscht werden, wenn störende Inhaltsstoffe eine bestimmte Konzentration übersteigen (z. B. bei Entfettungsbädern abhängig vom Anwendungsfall 1 bis 10 g/l Ölgehalt). Werden keine Aufbereitungsverfahren zur Badstandzeitverlängerung eingesetzt, kann dies je nach Anwendungsfall im Abstand von einzelnen Tagen bis zu mehreren Wochen erforderlich sein.

Reststoffe aus der Frischwasseraufbereitung

Verfügt das wäßrige Reinigungsverfahren über einen Spülschritt, bei dem vollentsalztes Wasser zur Vermeidung von Kalk- bzw. Reinigerflecken auf den Werkstücken nach der Trocknung eingesetzt wird, fallen zusätzlich Reststoffe aus der Frischwasseraufbereitung an. Bei der Entsalzung von Spülwasser durch Austausch von Kationen und Anionen an Austauscherharzen fallen Regenerierlösungen an, die nicht vermieden oder verwertet werden können. Hierbei hängen die Art und Menge der Regenerierlösung von der örtlichen Zusammensetzung des Leitungswassers ab.

Welche Möglichkeiten bestehen zur Verminderung des Anfalls von verbrauchten wäßrigen Reinigungsmedien?

Zur Verminderung des Anfalls verbrauchter wäßriger Reinigungsmedien spielen heute Maßnahmen zur Verringerung des Medienverbrauchs (Wasser, Reinigerzusätze) und zur Verlängerung der Badstandzeit die größte Rolle und werden aufgrund verschiedener wasserrechtlicher Vorgaben auch gesetzlich gefordert. Auf die wichtigsten Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung von Abwasser und Reststoffen im Vorfeld der Abwasserentstehung wird im folgenden näher eingegangen.

Verringerung von Verschleppungen

Durch ausreichendes Abtropfenlassen, Abspritzen oder Abblasen und durch Verwendung verschleppungsarmer Warenträger lassen sich die Ausschleppungen aus den einzelnen Reinigungsstufen reduzieren. Dies führt einerseits zu einem verringerten Chemikalienbedarf zum Nachschärfen des Reinigungsmediums, andererseits zu einer geringeren Belastung der nachfolgenden Spülbäder.

Kaskadenführung der Spül- und Waschmedien

Zur Verringerung des Wasserverbrauchs (und damit des Abwasseranfalls) und zur Mehrfachnutzung des Reinigungsmediums sind die Spül- und Waschzonen in Kaskadenschaltung zu betreiben, wie sie bereits in Abbildung 4-1 schematisch dargestellt wurde.

Standzeitverlängerung von Waschbädern durch innerbetriebliche Aufbereitung

– Verfahrenstechnik

Ziel der innerbetrieblichen Aufbereitung ist, durch geeignete Auswahl und Kombination verfügbarer Aufbereitungsverfahren die Verunreinigungen kontinuierlich von dem wäßrigen Reinigungsmedium abzutrennen und sowohl die Reiniger als auch die aufbereiteten Wässer solange wie möglich im geschlossenen Kreislauf zu führen.

Während feste Verunreinigungen durch vergleichsweise einfache Filtrationsverfahren aus den Spül- und Reinigungsbädern entfernt werden können, erfordert die Abtrennung öliger Verunreinigungen aufwendigere Verfahrensschritte. Angaben zu den verfügbaren Aufbereitungsverfahren sind in Tabelle 4-3 aufgeführt. Diese Verfahren können in die Reinigungsanlage selbst integriert oder getrennt von ihr installiert werden. Durch innerbetrieblichen Einsatz solcher Aufbereitungsverfahren lassen sich die Standzeiten von Entfettungsbädern erheblich verlängern und damit der Reststoffanfall deutlich verringern. Bei entsprechendem Aufwand kann ein „abwasserfreier" Betrieb realisiert werden (sofern nach längerem Betrieb oder bei Störungen ein Austausch des Reinigungsmediums erforderlich wird, ist dieses entweder extern als Abfall zu entsorgen oder intern einer im Rahmen dieser Studie nicht weiter betrachteten Abwasserbehandlung zu unterziehen).

Tab. 4-3: Aufbereitungsverfahren zur Standzeitverlängerung wäßriger Reinigungsmedien

Aufbereitungsverfahren	Funktionsprinzip der Wasser-Öltrennung	Erreichbare Restölgehalte in der Wasserphase (mg/l)		Einsatzbereiche
		demulgierendes System	emulgierendes System	
Skimmer	Trennung durch Adhäsion und z.T. durch Kapillarwirkung des eingesetzten Materials	1 000–3 000	2 500–10 000	Nur aufrahmendes Öl abtrennbar; Einsatz meist in Kombination mit Schwerkraftölabscheidern
Schwerkraftölabscheider	Dichtetrennung unter Einfluß der Schwerkraft	1 000–3 000	2 500–10 000	Badpflege im Vorwaschbereich; Vorstufe für Separation, Ultrafiltration, Verdampfung; bei hohen Durchsätzen erheblicher Platzbedarf; Emulsionen nicht trennbar
Separator (Zentrifuge)	Dichtetrennung unter Einfluß der Zentrifugalkraft	100–1 500	2 000–5 000	Badpflege im (Vor-)Waschbereich; kontinuierliche Badaufbereitung möglich, geringer Platzbedarf auch bei größeren Durchsätzen; stabile Emulsionen nicht trennbar
Mikrofiltration	Emulsionstrennung bei Überströmen einer porösen Membran	10–500		Badpflege im Waschbereich; Erreichen geringer Ölkonzentrationen, Rückgewinnung von membrangängigen Reinigersubstanzen möglich
Ultrafiltration	Emulsionstrennung bei Überströmen einer porösen Membran	1–50		Badpflege im Waschbereich; Erreichen kleinster Ölkonzentrationen, Rückgewinnung von membrangängigen Reinigersubstanzen möglich
Elektrokoagulation	Trennung von Wasser und Öl im elektrischen Feld	> 50		kontinuierliche Aufbereitung emulgierender Systeme
Verdampfer	Wasserabtrennung durch Verdampfung aus Öl-Waschmittel-Wasser-Emulsion und Kondensation zur Wasserrückgewinnung	< 10		ermöglicht abwasserfreien Betrieb der Reinigungsanlage, Wärmerückgewinnung bei Kondensation zur Badbeheizung, Nutzung des Kondensats im Spülbad

Begleitend zu den oben genannten Maßnahmen ist eine regelmäßige Badkontrolle z. B. durch Messung von Temperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit und Badpflege durch Nachdosieren ausgetragener Reinigerkomponenten Voraussetzung für eine optimale Standzeitverlängerung von Reinigungsbädern.

Insbesondere bei Einsatz von Mikro- und Ultrafiltration kommt der Überwachung der Reinigungsmittelkonzentration und -zusammensetzung eine große Bedeutung zu. Die Reinigungsmedien sind zum Teil nicht vollständig mikrofiltrierbar bzw. ultrafiltrierbar. Hierdurch kann es zu einer Verschiebung der Anteile der Reinigerkomponenten durch das Aufbereitungsverfahren kommen, die durch gezielte Zugabe einzelner Komponenten (Nachschärfen) wieder ausgeglichen werden muß.

– Einsatzbereiche

Die Einsatzbereiche der genannten Aufbereitungsverfahren bzw. von Verfahrenskombinationen können nur vor dem Hintergrund des konkreten Anwendungsfalls beurteilt werden. Allgemein lassen sich jedoch folgende Aussagen treffen:

Skimmer, Schwerkraftölabscheider oder Separator eignen sich zur Entfernung freier Öle und stellen relativ einfache und insbesondere bei demulgierenden Systemen recht wirkungsvolle Maßnahmen zur Standzeitverlängerung von Waschbädern dar. Bei höheren Qualitätsansprüchen oder emulgierenden Systemen kann zur Steigerung der Effizienz die technisch aufwendigere Mikro-/Ultrafiltration zur Emulsionstrennung nachgeschaltet werden. Ein relativ neues, aber praxiserprobtes Verfahren zur Aufarbeitung emulgierender Reiniger stellt die Elektrokoagulation dar. Zur Öl-/Wassertrennung werden die Oberflächenladungen emulgierter Öltröpfchen genutzt. Bei Anlegen eines elektrischen Feldes zwischen zwei Elektrodenplatten wandern die fein dispergierten Öltröpfchen zur entgegengesetzt geladenen Elektrode, werden dort entladen, koagulieren zu größeren Tropfen und steigen mit Unterstützung der an den Elektroden gebildeten Gasblasen zur Flüssigkeitsoberfläche auf. Der Koagulationsvorgang wird durch Anwesenheit von Metall- und Hydroxydionen beschleunigt, die z. B. durch elektrolytische Auflösung von stromlos zwischen den Elektrodenplatten angeordneten Metalleinlagen (meist aus einer Aluminiumlegierung) erzeugt werden. Zusätzlich können in das Reinigungsmedium eingetragene und darin gelöste Schwermetalle durch den Elektrodenprozeß in unlösliche Hydroxide überführt und abgeschieden werden. Wie die Membran-Filtrationsverfahren erfordert die Anwendung der Elektrokoagulation in der Regel eine gezielte Anpassung der Reinigerrezeptur an den Aufbereitungsprozeß. Durch Einsatz eines Verdampfers können nahezu alle Verunreinigungen (Öle, Fette, Salze etc.) aus den Wasch- oder Spülkreisläufen entfernt werden. Er ermöglicht einen abwasserfreien Betrieb der Reinigungsanlagen durch Eindampfung der Reststoffkonzentrate (z. B. aus Ölabscheider, Ultrafiltration). Das anfallende Destillat (enthält noch wasserdampfflüchtige Bestandteile) kann je nach Qualitätsanspruch als direktes Spülwasser oder zur Waschbadergänzung verwendet werden. Da neben den Verunreinigungen nahezu alle Reinigerkomponenten im Destillationssumpf zurückbleiben, ist ein kontinuierliches Nachschärfen der Reinigungsbäder unerläßlich. Aufgrund des hohen Energieverbrauchs ist der Einsatz eines Verdampfers nur dann sinnvoll, wenn zur Beheizung des Sumpfes Abwärme aus anderen Prozessen zur Verfügung steht oder die Kondensationswärme zur Badheizung genutzt wird.

Die Wirtschaftlichkeit der Aufbereitungsverfahren hängt ab von der Abwägung zwischen den Einsparungen (Entsorgungskosten, ggf. Reinigungsmittel, Wasser) sowie der verbesserten Qualität der Reinigung (aufgrund einheitlicher Badqualität bei kontinuierlicher Aufbereitung) und den erforderlichen Investitionen und Betriebskosten.

Bei Entsorgungskosten von 500 DM/m^3 ist der Einsatz einfacher Ölskimmer (ca. 800 bis 1 600 DM) schon für sehr kleine Reinigungsanlagen innerhalb kurzer Zeit wirtschaftlich lohnend, wenn sich die Standzeit der Bäder entsprechend verlängern und damit die Austauschhäufigkeit reduzieren läßt. Während moderne Kompaktreinigungsanlagen über integrierte Aufbereitungsverfahren verfügen, die einen nahezu abwasserfreien Betrieb ermöglichen, erfolgt dies bei größeren Anlagen meist in separaten Aufbereitungsanlagen.

– Reststoffrelevanz

Bei der Aufbereitung von wäßrigen Reinigungsmedien können in Abhängigkeit von den eingesetzten Aufbereitungsverfahren die in Tabelle 4-4 aufgeführten Reststoffe anfallen.

Tab. 4-4: Reststoffe aus der Aufbereitung wäßriger Reinigungsmedien

Aufbereitungs-verfahren	Anfallende Reststoffe	Verwertungsmöglichkeiten
Schwerkraft-ölabscheider	Wasserphase: Restölgehalt, Reiniger	Rückführung ins Waschbad oder Abtrennung des emulgierten Öls durch nachgeschaltete Mikro-/Ultrafiltration
	Schlamm: Feststoffe, Späne, Öl	keine (Entsorgung über SAV[1])
	Ölphase: Öle, Fette, (bis 50 %) Wasser, Reiniger	Zufuhr in nachgeschalteten Verdampfer oder externe Entsorgung als Altöl; bei Einhaltung der Anforderungen (z. B. Chlor-, PCB-, Wassergehalt) gemeinsame Verwertung mit Altölen möglich (z. B. Zweitraffination)
Separator	Wasserphase: Restölgehalt, Reiniger	Rückführung ins Waschbad
	Schlamm: Feststoffe, Späne, Öl	keine (Entsorgung über SAV[1])
	Ölphase: Öle, (5 bis 10 %) Wasser, Reiniger	Bei Einhaltung der Anforderungen (z. B. Chlor-, PCB-Gehalt) gemeinsame Verwertung mit Altölen möglich (z. B. Zweitraffination)
Mikrofiltration/ Ultrafiltration	Retentat: Öl, (bis 70 %) Wasser, Reiniger	nach Abtrennung des Wassers (z. B. über Eindampfung) und Einhaltung der Anforderungen gemeinsame Verwertung mit Altölen möglich
	Permeat: Wasser, Reiniger (wenn ultrafiltrierbar)	Rückführung ins Waschbad
Elektro-koagulation	Wasserphase: Reiniger	Rückführung ins Waschbad oder weitergehende Ölabtrennung in nach-geschalteter Mikro-/Ultrafiltration
	Flotat: Öle, Fette, (bis 10 %) Wasser, Aluminiumhydroxidspuren (aus den Metalleinlagen)	Bei Einhaltung der Anforderungen (z. B. Chlor-, PCB-Gehalt) gemeinsame Verwertung mit Altölen möglich
Verdampfer	Brüdenkondensat	Rückführung ins Spülbad (oder Waschbad)
	öliger Rückstand: Feststoffe, Reiniger, Salze (bei geeigneter Phasentrennung Wassergehalt < 5 %)	keine (Entsorgung über SAV[1])

[1] SAV = Sonderabfallverbrennungsanlage

Welche Reststoffe fallen aus der Niederdruckplasmareinigung an?

Reststoffe

Bei der Plasmareinigung mit Sauerstoff als Prozeßgas werden die organischen Verunreinigungen, die hauptsächlich aus Kohlenwasserstoffen bestehen, zu Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und Wasser umgesetzt. Leichtflüchtige Verschmutzungskomponenten verdampfen im Vakuum auch direkt. Andere Reststoffe aus der Umsetzung sonstiger Bestandteile der Verunreinigungen sowie Ozon, die in geringem Umfang entstehen, können in einem nachgeschalteten Aktivkohlefilter abgeschieden werden. Als einziger Reststoff fällt in geringem Umfang Aktivkohle an, die thermisch verwertet werden kann.

Sofern ein Plasma mit fluorhaltigen Gasen eingesetzt wird (z. B. Tetrafluorkohlenstoff), entsteht als Reaktionsprodukt Fluorwasserstoff. Dieser kann mit basischen Absorptionsfiltern oder Laugenwäschern aufgefangen werden. Die gebrauchten Filter bzw. das Abwasser müssen entsorgt werden.

4.2 Verminderung des Anfalls von gebrauchten Lösemitteln

Für eine Verminderung des Anfalls gebrauchter Lösemittel müssen sowohl der Reinigungsvorgang selbst als auch alle vorgeschalteten Verfahrensschritte, aus denen die abzureinigenden Verunreinigungen stammen, kritisch überprüft werden. Ziel muß es sein, den verfahrenstechnisch tatsächlich erforderlichen Reinheitsgrad mit minimalem Einsatz von Lösemitteln zu erreichen. Hierfür sind die folgenden **Leitfragen** zu prüfen:

Wie kann der Reinigungsaufwand durch vorgeschaltete Maßnahmen reduziert werden?

Wie kann der Reinigungsvorgang selbst vereinfacht werden?

Wie kann das Lösemittel bei der Reinigung verfahrenstechnisch besser ausgenutzt werden?

Wie kann der Reinigungsaufwand durch vorgeschaltete Maßnahmen reduziert werden?

Reduzierung der Verunreinigungen an der Quelle

Bei der Überprüfung von Art und Herkunft der zu entfernenden Verunreinigungen (s. Kap. 2.1.2) können sich bei der Teilereinigung z. B. folgende Möglichkeiten zur Reduzierung von Verunreinigungen ergeben:

- sparsamerer Einsatz von Hilfsstoffen (Ziehfette, Schneidöle, Korrosionsschutzöle etc.)
- Einsatz trocken arbeitender Metallverarbeitungsverfahren zur Vermeidung von Kühlschmierstoffverunreinigungen
- Einsatz abfallarmer Produktionsverfahren, z. B. Minimalmengen-Kühlschmierung (vgl. ABAG-Broschüre zu Vermeidung, Verminderung und Verwertung von Kühlschmierstoffen)

Bei der Geräte- und Apparatereinigung (z. B. Spritzpistolen und Vorlagebehälter) bestehen folgende Möglichkeiten zur Reduzierung von Verunreinigungen:

- Optimierung der Abstimmung der angesetzten Lackmengen auf den Verbrauch zur Verminderung von Restinhalten
- Optimierung der zu reinigenden Apparate im Hinblick auf die Reinigung (möglichst kurze Leitungen, kleine Behälter etc.)

Mechanische Vorreinigung

Durch mechanische Vorreinigung können in vielen Fällen mit geringem technischen Aufwand eine deutliche Vereinfachung der Reinigungsaufgabe und eine Verringerung der Verunreinigung erreicht werden.

Beispiele bei der Apparatereinigung:

- Einsatz von Abtropfgestellen zur vollständigen Behälterentleerung
- mechanische Vorreinigung durch Ausspachteln oder Abkratzen von gröberen Verunreinigungen
- Einsatz von Molchen zur Reinigung von Leitungen

Beispiele bei der Teilereinigung:

- Abspülen von Metallspänen durch Kühlschmiermittelstrahl auf der Werkzeugmaschine
- Entfernung von Spänen durch Vibration (Rütteln)
- Abblasen der Bearbeitungshilfsmittel innerhalb von Bearbeitungszentren mit Druckluftdüsen, die auf das zu reinigende Teil ausgerichtet sind
- Abtropfenlassen der Bearbeitungshilfsmittel über einen ausreichenden Zeitraum
- Abschleudern der Bearbeitungshilfsmittel
- Entfernen von Kühlschmierstoffen im Luftstrom geschlossener Saugblassysteme mit Kreislaufführung der Luft und mechanischer Abscheidung (Prallbleche, Ölnebelabscheider) der abgeblasenen Verunreinigungen aus dem Luftstrom

Reinigungsfreundliche Konstruktion

Die Berücksichtigung von Anforderungen des Reinigungsverfahrens schon bei der Konstruktion von Neuteilen kann zur Vermeidung von reinigungstechnischen Problemteilen beitragen. Beispiele hierfür sind die Vermeidung von schöpfenden Räumen, Falzen oder von Sacklochbohrungen. In Abbildung 4-2 ist ein Beispiel für eine reinigungsfreundliche Konstruktion dargestellt.

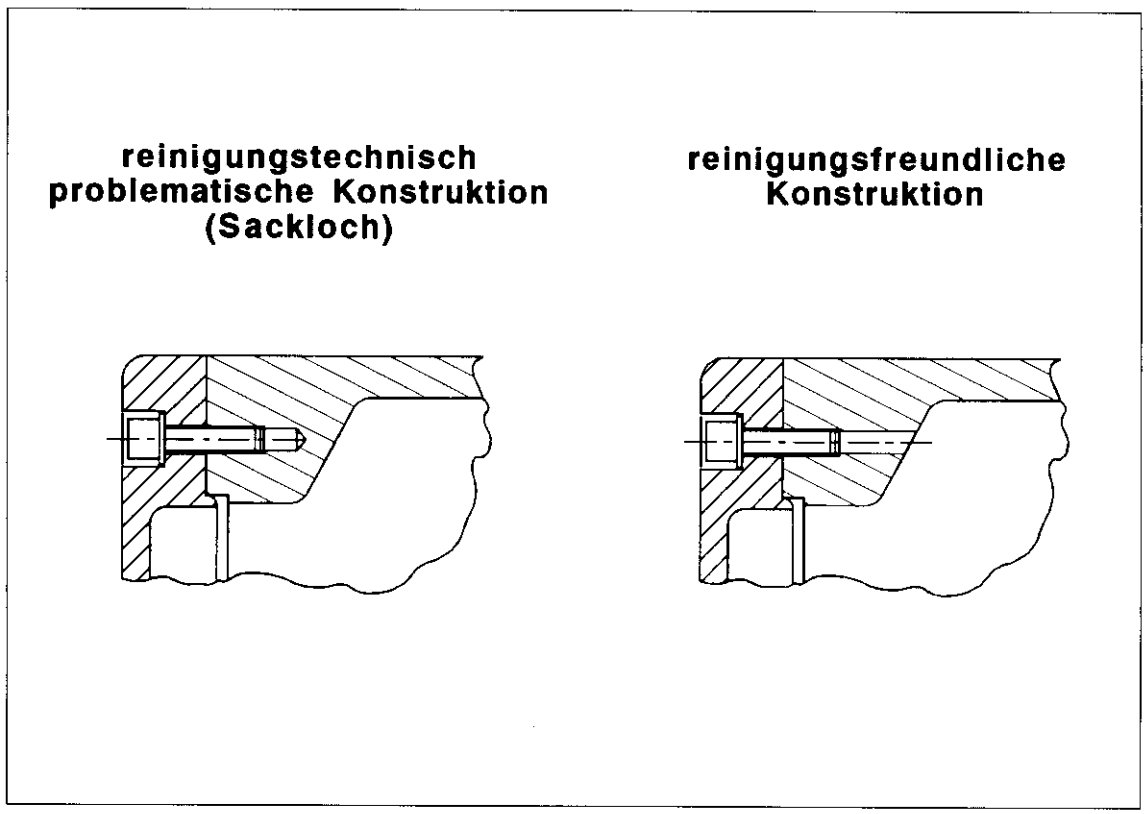


Abb. 4-2: Beispiel für reinigungsfreundliche Konstruktion

Vereinheitlichung des Reinigungsproblems

Vielfach werden bei der Bearbeitung unterschiedlicher Werkstücke unterschiedliche Hilfsmittel (verschiedene Kühlschmiermittel, Schneidöle etc.) eingesetzt, die unterschiedlich hohen Reinigungsaufwand erfordern. Um die Zahl von Reinigungsaufgaben und den Bedienungsaufwand zu reduzieren, wird oft die Reinigung einheitlich auf das anspruchsvollste Reinigungsproblem abgestellt. Gelingt es, die Zahl der Hilfsmittel zu reduzieren und auf solche Hilfsmittel, die einen geringen Reinigungsaufwand erfordern, zu begrenzen, so läßt sich eine Verlängerung der Standzeit des Lösemittels erreichen.

Wie kann das Lösemittel bei der Reinigung verfahrenstechnisch besser ausgenutzt werden?

Mehrfachverwendung des Lösemittels durch Kreislaufführung

Bei der manuellen Teile- und Apparatereinigung wird häufig noch in unbewegten, offenen Lösemittelbädern gearbeitet. Durch die Mehrfachverwendung des Lösemittels mittels Kreislaufführung kann eine erhebliche Verminderung der anfallenden Lösemittel bei gleichzeitiger Reduzierung der Emissionen erreicht werden. Als ein einfaches Beispiel für die Kreislaufführung ist der Waschtisch in Abbildung 4-3 schematisch dargestellt.

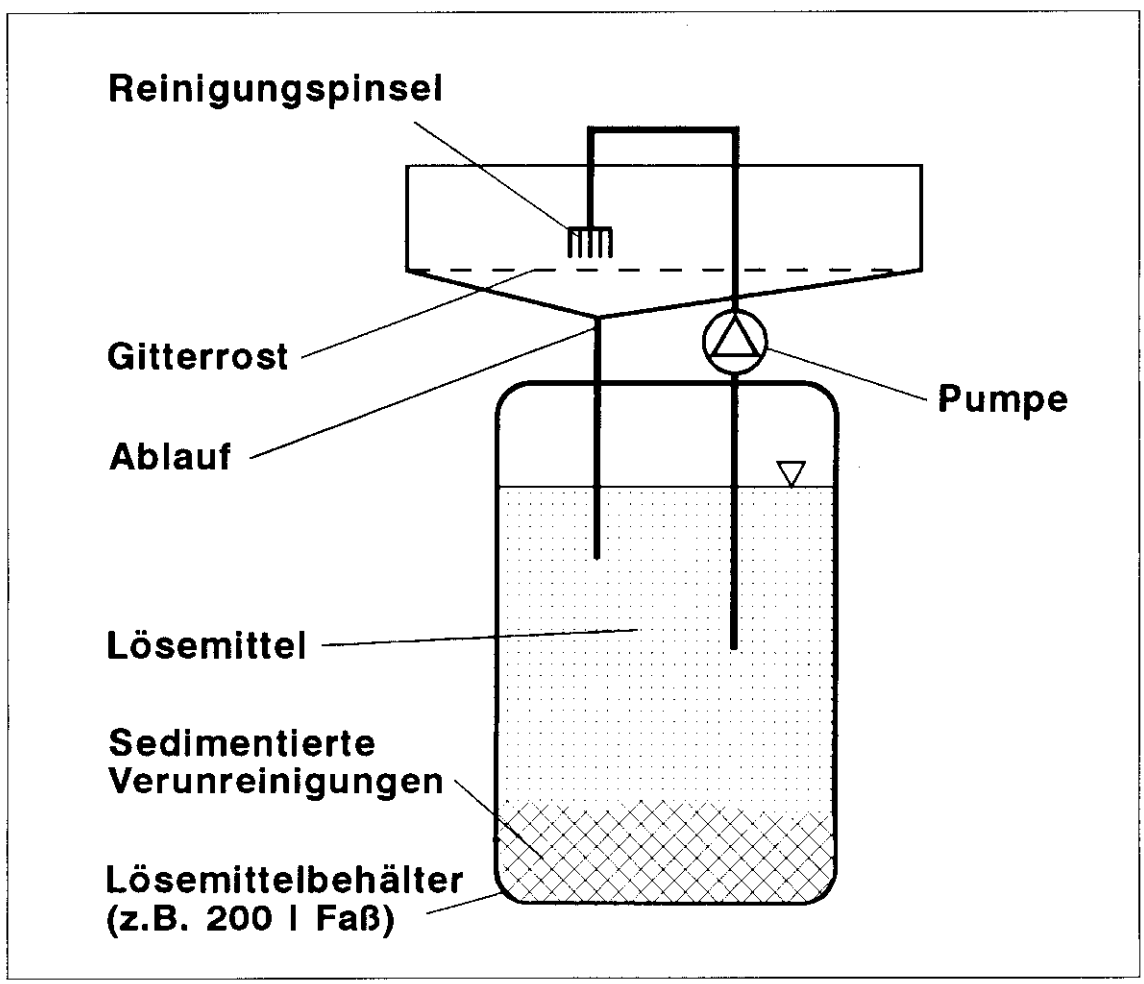


Abb. 4-3: Kreislaufführung von Lösemittel am Beispiel von Waschtischen

Der Eintrag von groben Verunreinigungen und Fremdstoffen (z. B. Schrauben) in den Reinigungskreislauf wird durch einen Gitterrost am Beckenablauf verhindert. Spezifisch schwerere, nicht lösliche Schmutzstoffe setzen sich am Boden des Behälters (z. B. Faß) ab. Da die Entnahme oberhalb der Sedimentationsschicht erfolgt, wird entsprechend saubereres Lösemittel zur Reinigung genutzt.

Bei automatisierten Reinigungsverfahren ist in der Regel die Kreislaufführung von Lösemittel mit Zwischenfiltration und gegebenenfalls Destillation in die Anlage integriert. Hierauf wird im nachfolgenden Kapitel näher eingegangen.

Mehrfachverwendung des Lösemittels durch Kaskadenführung

Kaskadenführung von Lösemitteln führt sowohl bei der manuellen Reinigung als auch bei automatisierten Reinigungsverfahren zu einer Reduzierung der Menge an eingesetztem Lösemittel.

Bei der manuellen Reinigung wird dabei Frischware hauptsächlich zur Nachreinigung von mit Gebrauchtware vorgereinigten Teilen verwendet. Dies kann z. B. durch Verwendung von zwei getrennten Reinigungsgefäßen bzw. Waschtischen für Grob- und Feinreinigung erfolgen.

Bei Einkammerreinigungsanlagen mit zwei Lösemittelvorlagebehältern können Frischware und Gebrauchtware für unterschiedliche Reinigungsaufgaben verwendet werden. Hierbei wird Frischware nur für Reinigungsaufgaben mit höheren Anforderungen eingesetzt, während gebrauchte Lösemittel für Grobreinigungen eingesetzt werden. So können z. B. Lösemittel, die zur Teileentfettung nicht mehr verwendbar sind, für die Entfernung von Spänen eingesetzt werden. Voraussetzung für die Durchführung ist die Festlegung entsprechender Reinigungsklassen und die Umsetzbarkeit der Logistik zur Getrenntbehandlung der jeweiligen Reinigungsklassen.

In Mehrkammerreinigungsanlagen bzw. Anlagen mit zentraler Reinigungskammer und mehreren Lösemittelvorlagebehältern kann die Kaskadenführung in mehrstufigen Reinigungsprozessen realisiert werden. Hierbei wird Frischware nur noch im letzten Reinigungsschritt zugegeben und das mit Verunreinigungen angereicherte Lösemittel im ersten Vorreinigungsschritt abgezogen.

Filtration des Lösemittels

Die Filtration von Lösemittel zur Entfernung von Feststoffen führt zu einer Verlängerung der Standzeit des Lösemittels. Hierbei können unterschiedliche Filterarten (Stecksiebe, Kerzenfilter, Beutelfilter etc.) eingesetzt werden. Die Lösemittelfiltration ist insbesondere bei Verwendung von Düsen im Reinigungsverfahren von Bedeutung. Beim Einsatz von Filtern ist auf die Wiederverwertbarkeit der Filter bzw. auf die Lösemittelentfernung aus den Filtereinsätzen zu achten, um zusätzliche lösemittelhaltige Reststoffe zu vermeiden.

Verlängerung der Einwirkzeit

Die Verlängerung der Einwirkzeit kann insbesondere bei der manuellen Kleinteilereinigung zu einer optimalen Ausnutzung von Lösemittel führen. Sofern es der Betriebsablauf zuläßt, kann z. B. durch Einlegen von zu reinigenden Teilen über Nacht – auch mit Lösemitteln, deren Reinigungskraft nahezu erschöpft ist – eine Vorreinigung von Teilen erfolgen. Hierbei sind jedoch zur Minimierung von Verdunstungsverlusten ausschließlich geschlossene Becken zu verwenden.

Verbesserung der Reinigungswirkung

Durch Erhöhung der Lösemitteltemperatur sowie durch eine Verstärkung der Mechanik (z. B. durch Ultraschall oder Bürsten) wird eine Verbesserung der Reinigungswirkung erreicht. Bei diesen Möglichkeiten zur Optimierung der Lösemittelausnutzung sind jedoch insbesondere bei erhöhter Temperatur die verfahrenstechnischen Rahmenbedingungen (Emissionen, Brandschutz etc.) zu berücksichtigen.

Kontrolle und Pflege der Lösemittelqualität

Je konstanter die Bedingungen bei der Reinigung sind, desto reproduzierbarer und kontrollierbarer sind die Reinigungsergebnisse. Da die direkte Kontrolle des Reinigungsergebnisses in der betrieblichen Praxis entweder nicht hinreichend genau bzw. reproduzierbar oder zu aufwendig bzw. zu teuer ist, ist eine Qualitätssicherung im üblichen Sinne nicht möglich. Damit kommt der Kontrolle der Reinigungsbedingungen eine erhöhte Bedeutung zu. Die erforderlichen Vorgaben für die praktische Durchführung der Lösemittelkontrolle sind in Abbildung 4-4 schematisch dargestellt.

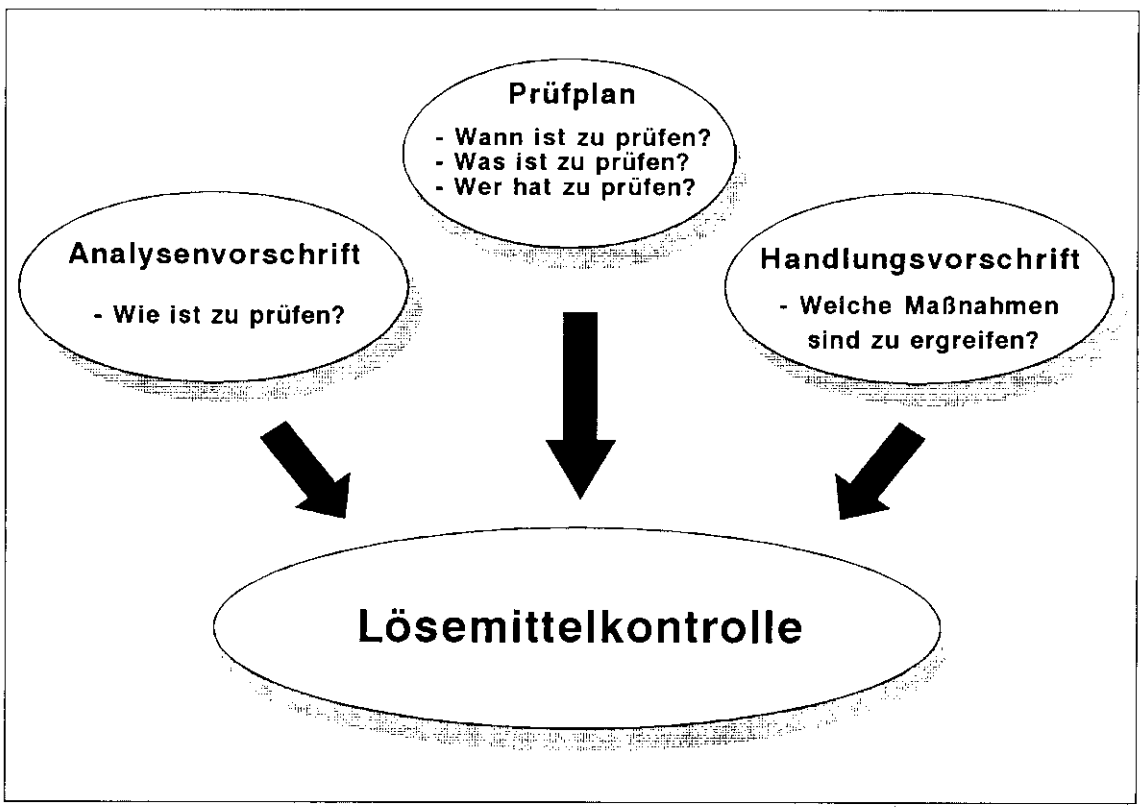


Abb. 4-4: Erforderliche Vorgaben bei der Durchführung von Lösemittelkontrollen

Die zeitliche Veränderung der Lösemittelqualität mit und ohne Pflege der Lösemittel ist schematisch in Abbildung 4-5 dargestellt.

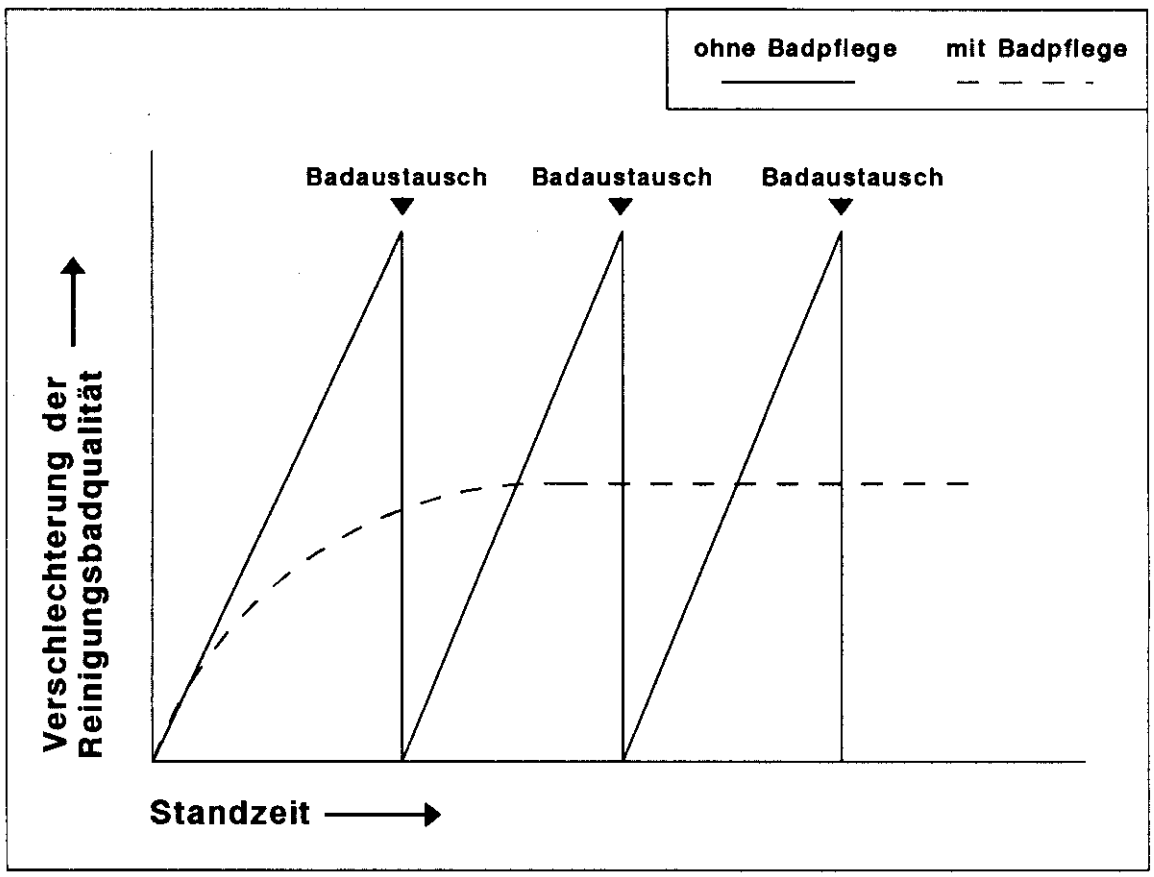


Abb. 4-5: Zeitlicher Verlauf der Lösemittelqualität mit und ohne Lösemittelpflege

Kontrolle und Pflege von chlorierten Lösemitteln

Bei der Verwendung von chlorierten Kohlenwasserstoffen ist neben der Optimierung der Lösemittelstandzeit die Vermeidung von Korrosion durch falsch stabilisierte CKW von besonderer Bedeutung. Insbesondere bei modernen, geschlossenen Anlagen werden die Lösemittel aufgrund der weitgehenden Emissionsminderungsmaßnahmen länger hohen Temperaturen und chemischen Beanspruchungen ausgesetzt als bei den früher verwendeten, offenen Anwendungen. Eine verbesserte Kontrolle und Pflege der chlorierten Lösemittel ist daher unerläßlich.

Die Kontrolle von chlorierten Lösemitteln kann sowohl im Labor als auch im Betrieb selbst erfolgen:

- Verträglichkeitstest im Labor
  Bei der Auswahl von chlorierten Lösemitteln für Reinigungsaufgaben bzw. bei reinigungsrelevanten Umstellungen (z. B. andere Hilfsstoffe, neue Materialien) sollte die Verträglichkeit zwischen chloriertem Lösemittel, der zu entfernenden Verunreinigung (Ziehfette, Kühlschmiermittel etc.) und zu reinigendem Teil überprüft werden. Die entsprechende Überprüfung erfolgt in einem Analysenlabor, die Durchführung wird von Lösemittelherstellern bzw. -aufbereitern als kostenloser Kundenservice oder gegen Entgelt (ca. 200 DM/Test) angeboten.

- Lösemitteltests im Labor
  Einige Parameter (z. B. Gehalt an Chlorid-Ionen und Wasser im Lösemittel) können mit einfachen Analysensets nicht ermittelt werden. Die Überprüfung dieser Parameter hat ebenfalls bei vollständig gekapselten Anlagen besondere Bedeutung und wird nach größeren Zeitabständen (Vier- bis Sechs-Wochenintervall) empfohlen. Die Durchführung der Analysen wird ebenfalls als Dienstleistung von Lösemittelherstellern bzw. -aufbereitern zum Teil als kostenloser Kundenservice oder gegen Entgelt (ca. 150 DM/Lösemitteltest) angeboten. Neben den o.g. Labortests werden zukünftig auch gaschromatographische Untersuchungen auf Öle mit gleicher Siedetemperatur wie das Lösemittel an Bedeutung gewinnen. Diese gleichsiedenden Öle entstehen im wesentlichen durch thermische Belastung von Verunreinigungen bei den Destillationsvorgängen.

- Lösemitteltests im Betrieb
  Lösemitteltests müssen in regelmäßigen Abständen durchgeführt werden. Die Prüfintervalle hängen unter anderem vom Lösemittelverbrauch und der Lösemittelbelastung ab und müssen daher für jede Anlage im Einzelfall festgelegt werden. Ein Mindestüberprüfungsintervall von einer Woche sollte dabei jedoch nicht unterschritten werden. Säurebildung kann bei der Verwendung von allen CKW-Lösemitteln erfolgen. Die jeweils zu kontrollierenden Parameter (z. B. pH-Wert, totale Säureaufnahme) hängen von der Lösemittelart und deren spezieller Stabilisierung ab. Entsprechende Analysensets werden komplett von Lösemittelherstellern angeboten (ca. 200 bis 300 DM/Meßkoffer).

Die Pflege der CKW erfolgt auf Basis der Ergebnisse der Lösemittelkontrolle durch Zugabe von Stabilisatorkonzentraten. Hierbei sind die Vorgaben der Lösemittelanbieter hinsichtlich Stabilisatorenarten, Zugabemengen und Störstoffen zu berücksichtigen. Bei vollgekapselten Anlagen sind Standzeiten bis zu zwei Jahren erreichbar. Der vollständige Austausch von CKW-Lösemitteln wird neben der Anreicherung von gleichsiedenden Ölen auch über die Anlagenwartungsintervalle beeinflußt.

Kontrolle und Pflege von nicht chlorierten Lösemitteln

Für die Kontrolle von Kohlenwasserstoffen bestehen noch keine standardisierten Verfahren. Zur Objektivierung der Beurteilung von gebrauchten Lösemitteln könnte gegebenenfalls die Veränderung des Brechungsindexes herangezogen werden, die mittels einfacher Refraktometer (ca. 800 bis 1 000 DM für einfache Handrefraktometer) bestimmt werden kann. Die Ermittlung von Grenzwerten, bei deren Überschreitung ein Austausch der gebrauchten Lösemittel erforderlich wird, müßte jedoch speziell für jeden Anwendungsfall erfolgen. Die Anwendung dieser Methode unter Praxisbedingungen ist daher beschränkt.

4.3 Verwertung von gebrauchten Lösemitteln

Die Verwertung von gebrauchten Lösemitteln kann innerhalb des Betriebes selbst oder außerhalb bei externen Aufarbeitern erfolgen. Während die Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung von Lösemitteln weitgehend vom Lösemittelanwender selbst abhängen, können bei der Frage der Verwertung von gebrauchten Lösemitteln mehrere Partner beteiligt sein. Dementsprechend können hierbei organisatorische Gesichtspunkte eine stärkere Rolle spielen. Im einzelnen sind für eine Verwertung gebrauchter Lösemittel folgende Fragen zu prüfen:

Welche organisatorischen Voraussetzungen für eine Verwertung sind zu beachten?

Was ist der Stand der Technik bei der innerbetrieblichen Verwertung von chlorierten Lösemitteln?

Was ist der Stand der Technik bei der innerbetrieblichen Verwertung von nicht chlorierten Lösemitteln?

Wer sind die Ansprechpartner für eine externe Verwertung von Lösemitteln?

Welche technischen Möglichkeiten bestehen für die externe Verwertung von Lösemitteln?

Welche organisatorischen Voraussetzungen für eine Verwertung sind zu beachten?

Jede Verwertung wird erschwert oder unmöglich gemacht, wenn das gebrauchte Lösemittel mit sonstigen Reststoffen (z. B. gebrauchten Schneidölen, Maschinenölen etc.) vermischt wird (z. B. bei gemeinsamer Sammlung in einem Tank). Die Getrennthaltung hat bereits bei der innerbetrieblichen Sammlung der Reststoffe zu erfolgen. Selbst wenn eine Verwertung nicht durchführbar ist, hat die Getrennthaltung Auswirkungen auf die Entsorgungsmöglichkeiten und Entsorgungskosten. Im Fall von chlorierten Lösemitteln ist die Vermischung verschiedener Lösemittel untereinander oder mit anderen Stoffen durch die Verordnung über die Entsorgung gebrauchter halogenierter Lösemittel (HKWAbfV) verboten.

Was ist der Stand der Technik bei der innerbetrieblichen Verwertung von chlorierten Lösemitteln?

Bei verunreinigten chlorierten Lösemitteln aus der Teilereinigung handelt es sich um relativ einfach zu trennende Systeme aus Ein-Stoff-Lösemittel und meist deutlich höher siedenden Verunreinigungen (Ölen, Fetten etc.). Für die innerbetriebliche Aufarbeitung stehen verschiedene Verfahren nach dem Stand der Technik zur Verfügung. Diese werden nachfolgend mit Angaben zu Verfahrenstechnik, Einsatzbereichen und Reststoffrelevanz näher beschrieben.

Normaldruck-Destillation von chlorierten Lösemitteln

– Verfahrenstechnik

Die Normaldruck-Destillation ist in der Regel ein integrierter Bestandteil einer CKW-Reinigungsanlage. Entsprechende Destillationseinheiten bestehen im wesentlichen aus einer mechanischen Feststoffabtrennung (Siebe, Filter), Destillationsbehälter und Kondensator. Die einzelnen Komponenten sind in das Gehäuse der Reinigungsanlage eingebaut und verfahrens- und steuerungstechnisch integriert. Die Lösemittelrückgewinnung erfolgt meist durch kontinuierliche Destillation eines Teilstroms. Während die Verunreinigungen (Öle, Fette etc.) im Destillationssumpf zurückbleiben und sich dort anreichern, wird das rückgewonnene Lösemittel direkt in den Reinigungsprozeß zurückgeführt. Auch die Dampfentfettung (Beschreibung s. Kap. 2.3.2) kann als anlageninterne Destillation bezeichnet werden. Die Kondensation des Lösemitteldampfs erfolgt hierbei zusätzlich an den zu reinigenden Teilen.

– Einsatzbereiche

Die integrierte Normaldruck-Destillation wird bei der Rückgewinnung und Verwertung aller für die Teilereinigung zulässigen chlorierten Lösemittel (s. Kap. 3.1) eingesetzt. Reinigungsanlagen, die den Anforderungen der 2. BImSchV genügen, verfügen in der Regel über integrierte Destillationsanlagen. Die Kosten für die Destillationseinheit sind in den Gesamtkosten der Reinigungsanlage enthalten.

– Reststoffrelevanz

Durch die kontinuierliche, anlagenintegrierte Abtrennung von Verunreinigungen wird eine Kreislaufführung möglich, die zu Standzeiten des Lösemittels von bis zu mehreren Jahren führen kann. Voraussetzung hierfür ist jedoch die ständige Überwachung des Stabilisierungsgrads des rückgewonnenen Lösemittels und gegebenenfalls eine Nachstabilisierung.

Die Reststoffverminderung, die durch die Destillation von chlorierten Lösemitteln erreichbar ist, hängt von dem Grad der Rückgewinnung des Lösemittels bzw. dem Grad der Aufkonzentrierung der Verunreinigungen im Destillationssumpf ab. Bei Normaldruck-Destillation sind der Aufkonzentrierung jedoch Grenzen gesetzt, da die Anreicherung der gelösten Verunreinigungen (Öle, Fette, Wachse etc.) im Sumpf eine Siedepunkterhöhung bewirkt. Der Zusammenhang zwischen Ölgehalt und Siedetemperatur ist in Tabelle 4-5 am Beispiel von Tetrachlorethen aufgeführt.

Tab. 4-5: Zusammenhang zwischen Ölgehalt und Siedetemperatur am Beispiel von Tetrachlorethen

Öl- und Fettgehalt (Vol.-%)	0	10	20	30	40	50
Siedetemperatur (°C)	121	123	123,5	125	127,5	130

Da bei zu hoher Temperatur die Gefahr der thermischen Zersetzung des Lösemittels besteht (die Zersetzungstemperatur für Tetrachlorethen liegt bei 140 °C), wird die Aufkonzentrierung häufig bereits bei einem Ölgehalt von ca. 25 Vol.-% abgebrochen, da die weitere Lösemittelrückgewinnung (auf bis zu 50 Vol.-% Ölgehalt) höhere Anforderungen an die Prozeßkontrolle stellt.

Der anfallende Destillationssumpf kann über die CKW-Händler an entsprechende externe Aufbereiter abgegeben werden oder unter bestimmten Randbedingungen einer betriebsinternen Vakuumdestillation oder Lösemittelabtrennung (siehe weiter unten) zugeführt werden.

Aus einer Destillationsanlage fallen außerdem CKW-haltige Reststoffe aus der mechanischen Feststoffabtrennung (z. B. Filtereinsätze) an. Diese stellen Sonderabfälle dar, sofern sie nicht durch geeignete technische Maßnahmen (z. B. Trocknung der Filtereinsätze) von CKW-Resten befreit werden.

Vakuum-Destillation von chlorierten Lösemitteln

– Verfahrenstechnik

Die Vakuum-Destillation wird meist als separate, wenngleich häufig fest mit der Reinigungsanlage verrohrte Zusatzanlage eingesetzt. Entsprechende Anlagen bestehen im wesentlichen aus der Destillationseinheit, der Vakuumeinheit und der Kondensationseinheit. Aufgrund des Unterdrucks verdampft das Lösemittel bei wesentlich niedrigeren Temperaturen. Die Kondensation des Lösemitteldampfs erfolgt nach Verdichtung auf Atmosphärendruck durch Luft- oder Wasserkühlung. Bei Vakuum-Destillationsanlagen mit sogenannter Brüdenkompression wird der Energieinhalt des kondensierenden Lösemittels im indirekten Wärmetausch dazu genutzt, den Destillationssumpf zu erhitzen und das enthaltene Lösemittel zu verdampfen. Hierdurch kann der Energiebedarf für die Destillation drastisch verringert werden, und der Einsatz von Kühlwasser für die Kondensation entfällt.

– Einsatzbereiche

Vakuum-Destillationsanlagen können zur weitergehenden Aufkonzentrierung von Destillationssümpfen (ölangereicherte CKW-Lösemittel) aus Reinigungsanlagen mit integrierter Normaldruck-Destillation eingesetzt werden. Die Füllmengen der chargenweise betriebenen Anlagen liegen im Bereich von ca. 50 bis 500 l; der Durchsatz hängt sehr stark vom Lösemittel, den Verunreinigungen und dem Betriebsdruck ab. Die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von separaten Vakuum-Destillationsanlagen ist erst bei größerem Mengendurchsatz (ca. 10 bis 15 t/a) gegeben.

– Reststoffrelevanz

Die Reststoffreduzierung durch Einsatz der Vakuumdestillation wird durch die Grenzen der Lösemittelrückgewinnung bzw. Aufkonzentrierung der Verunreinigungen festgelegt.

Die Restgehalte von Lösemittel im Destillationssumpf können auf ca. 5 Vol.-% reduziert werden.

Bei einem Verunreinigungsgrad des Inputstroms von 25 Vol.-% kann durch die Rückgewinnung des enthaltenen Lösemittels demnach eine Reststoffreduzierung von nahezu 75 Vol.-% erreicht werden. Die rückgewonnenen Lösemittel können wiederum bei der Teilereinigung eingesetzt werden. Der verbleibende lösemittelhaltige Reststoff kann über die CKW-Händler z. B. einer speziellen Verwertungsanlage zugeführt werden, in der durch Hydrierung bei Drücken von 280 bis 300 bar und Temperaturen von 450 bis 480 °C Halogene und andere Elemente (wie Stickstoff, Sauerstoff, Schwefel) abgespalten und durch Wasserstoff ersetzt werden. Die abgespaltenen Elemente werden zu verwertbaren Reststoffen weiterverarbeitet.

Abtrennung von chlorierten Lösemitteln

– Verfahrenstechnik

Eine Lösemittelabtrennanlage besteht im wesentlichen aus der Lösemittelabtrenneinheit, der Abscheideeinheit (Vorkühler, Zyklon, Nachkondensation mit zugehörigem Kälteaggregat) und den Tanks für Öl-/Lösemittelgemisch und Kondensat.

Das Öl-/Lösemittelgemisch wird in die Trenneinheit gefördert, dort auf ca. 80 bis 90 °C erhitzt und in einem Gasstrom versprüht, wobei das enthaltene Lösemittel teilweise in die Gasphase übergeht. Im Anschluß erfolgt die Trennung der Gas- und Flüssigkeitsphase. Die flüssige, lösemittelabgereicherte Phase fließt in den Gemischtank zurück und wird in einem Flüssigkeitskreislauf erneut der Trenneinheit zugeführt.

Die mit Lösemittel angereicherte Gasphase wird in der Abscheideeinheit zunächst im Vorkühler abgekühlt und das auskondensierte Lösemittel in einem Zyklon abgeschieden. Anschließend werden die restlichen Lösemittel in einer Nachkondensation weitgehend aus der Gasphase abgeschieden. Das Lösemittel wird im Kondensattank gesammelt. Die gereinigte Gasphase wird über einen Ventilator im Kreislauf geführt und wiederum der Trenneinheit zugeführt.

– Einsatzbereiche

Lösemittelabtrennanlagen eignen sich zur weitergehenden Aufkonzentrierung von Destillationssümpfen (d. h. ölangereicherte CKW-Lösemittel) aus Reinigungsanlagen mit integrierter Normaldruck-Destillation. Es können wasserfreie Öl-/Lösemittelgemische mit Ölgehalten über 25 Vol.-% eingesetzt werden. Ein wirtschaftlicher Betrieb solcher Anlagen ist aufgrund der hohen Investitionen von ca. 100.000 DM erst bei größerem Mengendurchsatz (ab ca. 10 bis 15 t Gemisch pro Jahr) gegeben. Besonders günstige Einsatzbedingungen liegen vor, wenn das von Lösemittel gereinigte Öl wieder in die Produktion zurückgeführt werden kann.

– Reststoffrelevanz

Durch Einsatz der Lösemittelabtrennung kann der Lösemittelrestgehalt des anfallenden Öls bis unter 0,01 Vol.-% abgesenkt werden. Entsprechend kann das enthaltene Lösemittel praktisch vollständig zurückgewonnen und die Reststoffmenge entsprechend vermindert werden. Bei günstigen Einsatzbedingungen (z. B. Verwendung eines einheitlichen Öls) kann durch Wiedereinsatz des Öls in der Produktion eine vollständige Reststoffverwertung erfolgen. Sind die Voraussetzungen für den Wiedereinsatz nicht gegeben, kann das Öl der Altölverwertung zugeführt werden.

Was ist der Stand der Technik bei der innerbetrieblichen Verwertung von nicht chlorierten Lösemitteln?

Die bei der Reinigung eingesetzten nicht chlorierten Lösemittel sind chemisch und thermisch relativ stabil und können daher prinzipiell destillativ aufbereitet werden. In der Praxis sind insbesondere solche Reinigungsmittel für eine Rückgewinnung geeignet, die chemisch gesehen nur aus einer Komponente bestehen (z. B. Isopropanol, Cyclohexan). Hier erhält man bei der Destillation – wie bei den chlorierten Lösemitteln – in der Regel das reine Originallösemittel. Voraussetzung hierfür ist allerdings, daß sich Siedepunkte von Lösemittel und von Verunreinigungen um mindestens 80 K unterscheiden. Im Fall von leichtflüchtigen Lösemitteln ist diese Bedingung bei den üblichen Verunreinigungen (Fette, Öle, Lackreste etc.) im allgemeinen erfüllt.

Meist werden jedoch zur Reinigung Lösemittel eingesetzt, die aus einem Gemisch von verschiedenen Komponenten bestehen. Haben die Komponenten sehr unterschiedliche Siedepunkte, so kann es bei der Destillation zu einer teilweise erheblichen Verschiebung der Zusammensetzung des Gemisches kommen. In solchen Fällen ist der Wiedereinsatz des gewonnenen Destillats im allgemeinen nicht mehr möglich.

Heute werden von den Herstellern aber zunehmend Lösemittel (z. B. auf Basis Isoparaffine, n-Paraffine oder Testbenzine) angeboten, bei denen die Siedepunkte der Einzelkomponenten weniger als 30 bis 50 K auseinanderliegen. Entsprechende Gemische können mit den weiter unten beschriebenen üblichen Anlagen für die innerbetriebliche Destillation praktisch vollständig überdestilliert werden, so daß das erhaltene Rezyklat der Zusammensetzung der Ausgangsmischung entspricht.

In Einzelfällen enthalten Lösemittelgemische spezielle schwersiedende Komponenten (z. B. Tenside), die vollständig im Destillationssumpf zurückbleiben. Einige Hersteller bieten diese Komponenten getrennt zum Nachschärfen an, so daß auch in diesen Fällen die Erzeugung eines wiedereinsetzbaren Regenerats möglich ist.

Die für die innerbetriebliche Aufarbeitung nach dem Stand der Technik zur Verfügung stehenden Verfahren werden nachfolgend mit Angaben zu Verfahrenstechnik, Einsatzbereichen und Reststoffrelevanz näher beschrieben.

Normaldruck-Destillation von nicht chlorierten Lösemitteln

– Verfahrenstechnik

Die Normaldruck-Destillation von nicht chlorierten Lösemitteln kann sowohl in die Reinigungsanlage integriert sein als auch als separate Zusatzanlage ausgeführt werden.

Die anlagenintegrierte Destillation wird für nicht chlorierte Lösemittel vor allem in Form der Dampfentfettung eingesetzt. Die Funktionsweise dieser Anlagen entspricht den CKW-Reinigungsanlagen. Sie müssen jedoch zusätzlich ex-geschützt ausgeführt sein; dagegen entfallen bislang im allgemeinen die aufwendigen Maßnahmen zur Abgas- und Abwasserreinigung.

Für die separate Normaldruck-Destillation werden im allgemeinen einstufige, ex-geschützte Anlagen eingesetzt. Diese bestehen üblicherweise aus einem Edelstahlbehälter, in den das verschmutzte Lösemittel eingefüllt wird. Die Beheizung dieses Behälters erfolgt indirekt über eine Wärmeträgerflüssigkeit im Mantel des Behälters. Der entstehende Lösemitteldampf wird über ein Rohr aus dem Behälter abgeleitet und mittels

Luft- oder Wasserkühlung kondensiert. Mit entsprechend einfachen Anlagen ist auch eine Wasserdampfdestillation möglich: In diesem Fall wird dem (wasserunlöslichen) Lösemittel im Destillationsbehälter Wasser zugesetzt, es destillieren Wasserdampf und Lösemitteldampf über. Hierbei geht das Lösemittel bereits bei Temperaturen über, die erheblich unter der eigentlichen Siedetemperatur liegen; das Verfahren eignet sich daher vor allem für die schonende Destillation höher siedender Lösemittel. In einem Abscheider wird Lösemittel von Wasser getrennt und das Wasser wieder für die nächste Charge eingesetzt.

Die Destillation erfolgt meist chargenweise; bei einigen (größeren) Anlagen sind auch Zusatzgeräte für eine kontinuierliche Destillation erhältlich. Der Destillationsrückstand wird nach Abschluß der Destillation durch eine dafür vorgesehene Öffnung aus dem Destillationsgefäß abgelassen.

– Einsatzbereiche

Die integrierte Normaldruck-Destillation wird in speziellen Reinigungsanlagen mit Dampfentfettung und nur bei leichtflüchtigen Lösemitteln (A I- bzw. A II- oder B-Produkte nach VbF, z. B. Isopropanol, Aceton, Cyclohexan) eingesetzt. Die Kosten für die integrierte Destillationseinheit sind in den Gesamtkosten der Reinigungsanlage enthalten.

Separate Normaldruck-Destillationsanlagen werden zur Destillation von leichtflüchtigen (A I und A II oder B) Lösemitteln eingesetzt; bei Gemischen dürfen die Siedepunkte der enthaltenen Einzelkomponenten nicht weiter als ca. 30 bis 50 K auseinander liegen. Die Arbeitstemperaturen entsprechender Destillationsgeräte liegen üblicherweise zwischen 40 °C und maximal ca. 160 °C. Der entstehende Rückstand muß – zumindest in heißem Zustand – noch flüssig sein, damit er aus dem Destillationsgefäß abgelassen werden kann (andernfalls muß mit einer der weiter unten beschriebenen Anlagen zur Sumpfdestillation gearbeitet werden).

Die Füllvolumina der separaten Destillationsanlagen liegen im Bereich 15 bis 200 l mit Destillationsleistungen von wenigen Litern pro Stunde bis zu mehreren hundert Liter pro Stunde. Entsprechend liegen die Investitionen je nach Größe der Anlage zwischen ca. 6 000 DM und ca. 50 000 DM. Damit können entsprechende Anlagen schon bei Durchsätzen in der Größenordnung von 5 t/a wirtschaftlich arbeiten.

– Reststoffrelevanz

Die Rückgewinnung von Lösemitteln kann bei den beschriebenen Destillationsapparaturen, wie erwähnt, so weit durchgeführt werden, wie der zurückbleibende Destillationsrückstand noch flüssig ist. Bei der Destillation von ölverunreinigten Lösemitteln kann daher – vorausgesetzt, die Siedepunkte von Lösemittel und Öl unterscheiden sich ausreichend – praktisch der gesamte Lösemittelanteil zurückgewonnen werden.

Anders ist dies bei Lösemitteln bzw. Schlämmen aus der Geräte- und Apparatereinigung, beispielsweise aus dem Lackierbereich. Diese enthalten unter Umständen feststoffreiche und aushärtende Verunreinigungen, die sich bei weitgehender Abdestillation des Lösemittels nicht mehr aus dem Gerät entfernen lassen. In diesem Fall muß bei einem bestimmten Restlösemittelgehalt, der vom Einzelfall abhängt, die Destillation abgebrochen werden.

Sumpfdestillation von nicht chlorierten Lösemitteln

– Verfahrenstechnik

Die Sumpfdestillation dient zur weitergehenden Rückgewinnung von verunreinigten Lösemitteln in solchen Fällen, in denen sich ein pastöser oder fester Destillationsrückstand bildet. Im einfachsten Fall kann sie verfahrenstechnisch so durchgeführt werden, daß in den Destillationsbehälter einer üblichen, oben beschriebenen Anlage ein hitzebeständiger Kunststoffsack eingelegt wird, der nach der Destillation mit dem darin enthaltenen Destillationsrückstand entnommen wird. Angeboten werden auch Heizvorrichtungen, in die handelsübliche Stahlfässer oder Farbbehälter (Hobbocks) eingestellt werden können. Die Destillation erfolgt, indem an der Öffnung des Fasses oder Behälters eine Kunststoffleitung angebracht wird, die das verdampfte Lösemittel einem Kühler zuführt. Das Kondensat wird in einem zweiten Faß aufgefangen und für den Wiedereinsatz bereitgestellt. Der Destillationsrückstand wird zusammen mit dem Faß bzw. Behälter entsorgt.

Für größere Durchsatzmengen werden darüber hinaus spezielle Sumpfdestillationsanlagen (z. B. Rührwerksblasen mit Wandschabern zur Vermeidung von Verkrustungen auf den Heizflächen) angeboten. Diese dicken den Destillationsrückstand automatisch bis zu einer vorgegebenen Viskosität ein; der Rückstand wird über spezielle Vorrichtungen (Schaber, Rührer) über eine Öffnung im Boden des Behälters ausgetragen.

– Einsatzbereiche

Die Sumpfdestillation unter Normaldruck eignet sich für solche verunreinigten Lösemittelsysteme, bei denen das Lösemittel unter Normaldruck destillierbar ist, aber ein fester oder klebender Destillationsrückstand entsteht. Für Lack- und Farbrückstände bzw. -schlämme ist zunächst durch Rücksprache mit dem Hersteller zu prüfen, ob die Gefahr einer Peroxidbildung im Sumpf (bei Tetrahydrofuran als Lösemittel) oder der Selbstentzündung (durch u.U. im Produkt enthaltene Collodiumwolle) besteht.

Geräte zum Einlegen von Kunststoffsäcken sowie für die Faß- bzw. Behälterdestillation werden im Größenbereich von 40 bis 200 l Füllvolumen angeboten; die Durchsatzleistung richtet sich nach der Zusammensetzung des eingesetzten verunreinigten Lösemittels. Die Investitionen für entsprechende Anlagen liegen im Bereich von 10 000 bis 30 000 DM. Sie können deshalb auch bei kleineren Mengen wirtschaftlich arbeiten, wobei auch diese Aussage im Einzelfall von der Zusammensetzung des jeweils aufzuarbeitenden Lösemittels abhängig ist.

Spezielle Apparaturen für die Sumpfdestillation liegen im Größenbereich von 400 bis 500 l Füllvolumen und bei einer ungefähren Destillationsleistung (abhängig von Lösemittel und Verunreinigung) von 60 bis 150 l/h. Ihr innerbetrieblicher Einsatz ist aufgrund der erforderlichen Investitionen von 100 000 DM und darüber praktisch nur bei Anfall großer Mengen wirtschaftlich sinnvoll.

– Reststoffrelevanz

Der Grad der Rückgewinnung des Lösemittels bei der Sumpfdestillation variiert sehr stark in Abhängigkeit von den spezifisch enthaltenen Verunreinigungen und ihren Eigenschaften. Die Restlösemittelgehalte im Destillationsrückstand liegen im allgemeinen im Bereich von 5 bis 25 Vol.-%.

Zu berücksichtigen ist der zusätzliche Reststoffanfall durch die eingesetzten Kunststoffsäcke sowie Fässer bzw. Hobbocks. Insbesondere Metallfässer, die üblicherweise einer Verwertung bei einem Faßregenerateur zugeführt werden können, stellen einen erheblichen Materialwert dar. Enthalten die Fässer jedoch feste Destillationsrückstände, so ist die Entsorgung des gesamten Fasses mit Inhalt als Abfall notwendig.

Grundsätzlich sollte daher immer versucht werden, zumindest die Menge der zu entsorgenden Verpackungsmaterialien zu begrenzen, indem sie für mehrere Destillationen eingesetzt werden. Die erreichbare Reststoffreduzierung sollte vor der Entscheidung für eine Sumpfdestillation durch entsprechende Sumpfanalysen oder Destillationsversuche überprüft werden. Danach kann eine Abwägung erfolgen, ob die zusätzlich zurückgewonnene Lösemittelmenge den zusätzlich entstehenden Reststoffanfall aufwiegt.

Vakuum-Destillation von nicht chlorierten Lösemitteln

– Verfahrenstechnik

Die Vakuum-Destillation kann technisch ausgehend von den beschriebenen einstufigen Normaldruck-Destillationsanlagen realisiert werden. Mit Zusatzkomponenten, die im wesentlichen aus der Vakuumpumpe sowie einem (meist wassergekühlten) Kühler bestehen, können diese Anlagen zum Teil nachgerüstet werden. Auch spezielle Apparaturen zur Sumpfdestillation werden mit Vakuumzusatz angeboten.

Alternativ können Vakuum-Destillationsanlagen mit Brüdenkompression eingesetzt werden, wie sie bereits im Kapitel chlorierte Lösemittel beschrieben wurden.

– Einsatzbedingungen

Die Vakuumdestillation wird zur schonenden Destillation hochsiedender Verbindungen, vor allem von A III-Lösemitteln, eingesetzt. Als Randbedingungen für die Destillierbarkeit gelten: Gemische dürfen nur einen engen Siedebereich (10 bis 30 K) besitzen; sofern einzelne schwersiedende Komponenten im Sumpf zurückbleiben, müssen diese getrennt zum Nachschärfen erhältlich sein. Entstehen pastöse bzw. feste Rückstände, so muß eine spezielle Sumpfdestillationsapparatur eingesetzt werden.

Während die Investitionen von Zusatzkomponenten für die Vakuum-Destillation abhängig von der Durchsatzleistung ca. 10 000 DM bis 20 000 DM betragen, liegen die Investitionen für Vakuum-Destillationsanlagen mit Brüdenkompression über 100 000 DM bei Destillationsleistungen ab ca. 50 l/h. Anlagen für Sumpfdestillation mit Vakuumaufsatz liegen noch darüber und sind daher für den innerbetrieblichen Einsatz nur bei sehr großen Mengen oder sehr teuren Lösemitteln wirtschaftlich.

– Reststoffrelevanz

Die mögliche Reststoffverminderung durch Einsatz der Vakuum-Destillation hängt ebenfalls von der Zusammensetzung des verunreinigten Lösemittels ab. Es gelten daher vergleichbare Betrachtungen wie bei der Normaldruck-Destillation.

Wer sind die Ansprechpartner für eine externe Verwertung von Lösemitteln?

Die Beteiligten bei Verwertungskreisläufen für Lösemittel

Mögliche Verwertungskreisläufe und die daran Beteiligten sind in Abbildung 4-6 schematisch dargestellt.

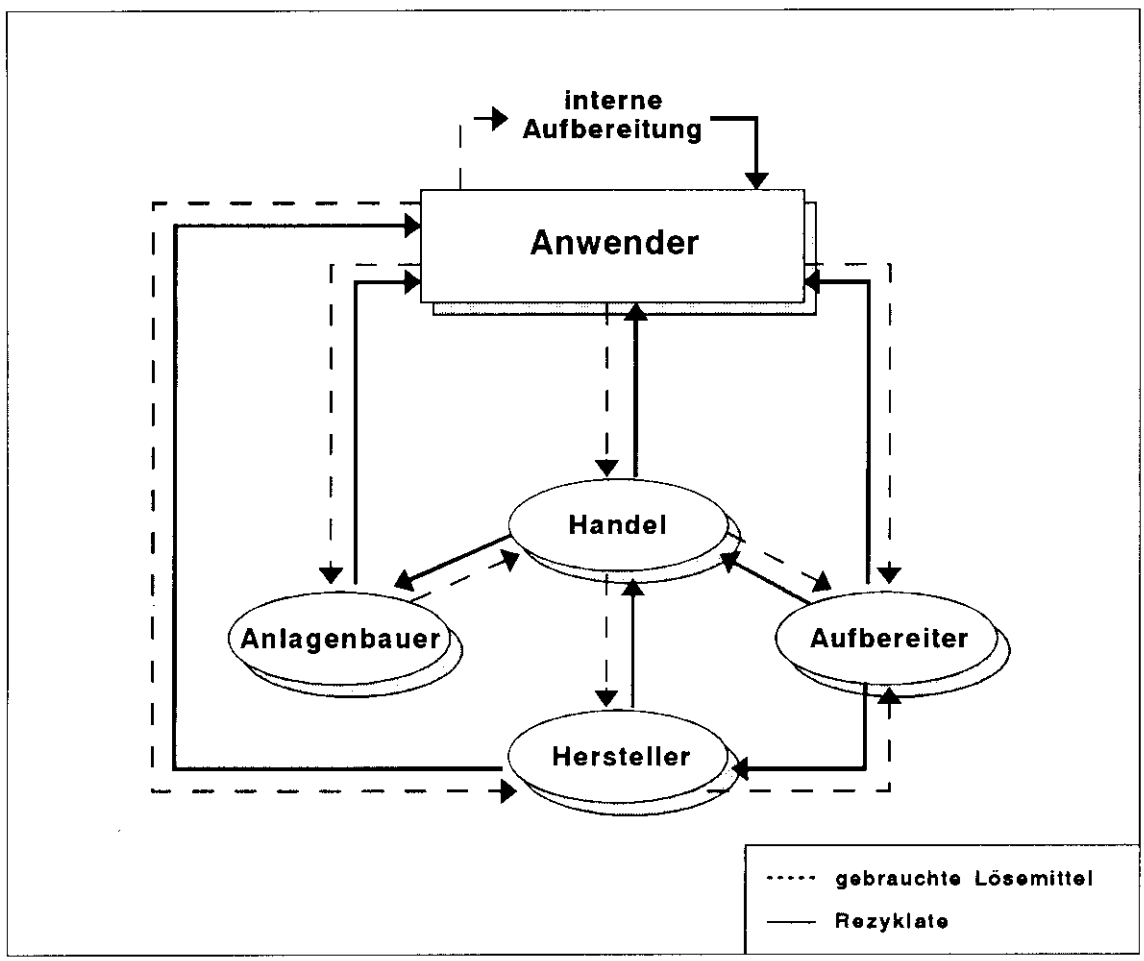


Abb. 4-6: Mögliche Verwertungskreisläufe und Beteiligte bei der Verwertung von gebrauchten Lösemitteln

Neben diesen Verwertungskreisläufen, bei denen die aufbereiteten Lösemittel wieder direkt in den gleichen Anwendungsbereichen eingesetzt werden, bestehen verschiedene Verwertungsschienen, bei denen Lösemittel aufbereitet werden und anschließend in minderwertigen Anwendungsbereichen Verwendung finden. Diese Art der Verwertung hat abfallwirtschaftlich gesehen zweite Priorität, da dieses sogenannte „down-cycling" bestenfalls eine stoffliche Verwertung auf niedrigem Niveau bzw. eine thermische Verwertung ermöglicht.

Lösemittelhersteller und -händler

Die Hersteller/Händler können im Rahmen ihrer Produktverantwortung weitgehend in die Entscheidungsfindung zur stofflichen Verwertung von gebrauchten Lösemitteln ein-

gebunden werden. Zusätzlich zum Verkauf von Lösemitteln können folgende Serviceleistungen nachgefragt werden:

- Anwendungsberatung (z. B. Ermittlung der Voraussetzungen für die Verwertung, Ermittlung der Umstellungsmöglichkeiten auf ein verwertbares Ersatzlösemittel, Ermittlung der erforderlichen Verfahrensumstellungen)
- Analytik (z. B. Untersuchung der Verwertbarkeit von Reststoffen anhand von Proben)
- Rücknahme der gebrauchten Lösemittel (z. B. Angebot von Verbundlösungen, eventuell in Zusammenarbeit mit Aufbereitern)
- Komplettangebote (z. B. Übernahme von Transport, Analytik, Verwertung, Verwaltungsarbeit)

Insbesondere für Kleinverbraucher können sich durch Nutzung umfassender Serviceleistungen Möglichkeiten ergeben, Lösemittel einer stofflichen Verwertung zuzuführen.

Lösemittelaufbereiter

Die Aufbereiter von Lösemitteln bieten ähnliche Serviceleistungen wie die Hersteller und Händler an. Dies erfolgt zum Teil in Zusammenarbeit mit den Herstellern und Händlern. Der direkte Kontakt zu Aufbereitern ermöglicht beim Anfall größerer Mengen gebrauchter Lösemittel zudem deren Lohnaufarbeitung, d. h. das gebrauchte Lösemittel wird nach der Aufbereitung direkt wieder im Herkunftsbetrieb zum selben Zweck eingesetzt.

Aufbereiter von Lösemitteln sowie Annahmekriterien und Aufbereitungstechnik sind im Handbuch der ABAG zu Recycling- und Verwertungsanlagen aufgeführt.

Reinigungsanlagenhersteller

Die Hersteller von Reinigungsanlagen bieten zum Teil als Zwischenhändler auch Lösemittel an. Die Anlagenbauer sind insbesondere bei folgenden Punkten in den Entscheidungsprozeß einzubeziehen:

- Abstimmung des Reinigungsverfahrens auf verwertbare Lösemittel
- Fragen der Garantieleistungen, wenn Ersatzlösemittel oder Lösemittelrezyklate eingesetzt werden
- Durchführung von Versuchen mit verwertbaren Reinigungsmitteln
- Durchführung von Versuchen und technische Umsetzung der internen Aufbereitung

Welche technischen Möglichkeiten bestehen für die externe Verwertung von Lösemitteln?

Stand der Technik der externen Aufbereitung

Als Stand der Technik sowohl für die externe Aufbereitung chlorierter als auch nicht chlorierter Lösemittel kann die Kombination aus mechanischer Vorbehandlung (z. B. Filtration, Sedimentation) und destillativer Aufarbeitung bezeichnet werden. Hinzu kommt eine begleitende Analytik zur Bestimmung physikalischer Kenngrößen von verunreinigten Lösemitteln sowie gewonnener Rezyklate.

Als Destillationsverfahren kommen in Abhängigkeit vom jeweiligen Lösemittel und seinem Verunreinigungsgrad Normaldruck-, Azeotrop-, Wasserdampf- und Vakuum-Destillation sowie Rektifikation und Dünnschichtverdampfung in Frage. In Einzelfällen wird auch eine extraktive Reinigung vorgenommen.

Die eingesetzten Techniken unterscheiden sich für chlorierte und nicht chlorierte Lösemittel.

Externe Aufbereitung von chlorierten Lösemitteln

– Verfahrenstechnik

Die externe Destillation von verbrauchten CKW-Lösemitteln erfolgt häufig zweistufig. In der ersten Stufe wird eine Destillation unter atmosphärischem Druck durchgeführt. In der zweiten Stufe erfolgt eine Vakuum- oder Azeotrop-Destillation, deren niedrigere Prozeßtemperaturen eine weitergehende Destillation ohne Gefahr der thermischen Zersetzung der CKW zulassen. Neben Destillationsverfahren werden in speziellen Fällen, z. B. zur Abtrennung von Störstoffen, auch Extraktionsverfahren eingesetzt.

Überwiegend werden indirekt beheizte Blasendestillationen mit Füllkörperkolonnen eingesetzt, aber auch Dünnschichtverdampfer werden verwendet. Bei der Eindampfung von Destillationssümpfen werden auch Destillationsblasen mit Rührwerk eingesetzt.

– Einsatzbereiche

Durch die Rücknahmeverpflichtung für CKW kann die externe Aufbereitung von CKW von allen Verbrauchern in Anspruch genommen werden. Wird die externe CKW-Destillation als Lohndestillation durchgeführt, werden meist Mindestabnahmemengen von ca. 1 000 l gebrauchtes Lösemittel gefordert. Kleinere Mengen werden gemeinsam mit gebrauchten Lösemittelmengen aus anderen Betrieben aufgearbeitet.

– Reststoffrelevanz

Die Ölgehalte der aufzubereitenden CKW liegen in Abhängigkeit von der Ausstattung der Reinigungsanlage, in der sie eingesetzt waren, und der betriebsinternen Aufbereitung im Bereich zwischen 10 bis 95 Vol.-% Ölanteil. Die erreichbaren Restgehalte an CKW im Destillationssumpf können weniger als 0,1 Vol.-% betragen. Damit können praktisch die gesamten Lösemittel zurückgewonnen werden.

Ein für die Schließung von Stoffkreisläufen durch die Rückgewinnung von CKW wichtiger Punkt ist die Steigerung der Akzeptanz von CKW-Rezyklaten. Von seiten der füh-

renden Reinigungsanlagenhersteller wird im Rahmen der Garantieleistungen der Einsatz von Frischware oder von Rezyklat in Frischware-Qualität gefordert. Es gibt Hersteller, die für ihre CKW-Rezyklate die Frischware-Qualität garantieren. In der Praxis haben sich solche hochwertigen CKW-Rezyklate bereits bewährt.

Externe Aufbereitung von nicht chlorierten Lösemitteln

– Verfahrenstechnik

Die Destillation von nicht chlorierten Lösemitteln, in der Praxis meist höher siedende A III-Produkte, ist verfahrenstechnisch aufwendiger als bei chlorierten Lösemitteln. Für die genannten hochsiedenden Lösemittel werden thermoölbeheizte Destillationsanlagen eingesetzt, die zum Teil über Trennkolonnen mit mehr als 100 theoretischen Böden verfügen. Für die weitergehende Sumpfdestillation werden auch Destillationsblasen mit Rührwerk benutzt.

– Einsatzbereiche

Die Destillationsbetriebe bieten die Aufarbeitung von nicht chlorierten Lösemitteln als Lohndestillation an, übernehmen jedoch auch gebrauchte Lösemittel und vermarkten die erzeugten Rezyklate. Für die Lohndestillation liegen die Mindestmengen bei ca. 1 000 l je Charge. Kleinere Mengen werden gemeinsam mit gebrauchten Lösemitteln aus anderen Betrieben aufbereitet.

Um eine Wiederverwendbarkeit von Kohlenwasserstoff-Rezyklaten in den ursprünglichen Anwendungsbereichen zu gewährleisten, ist eine weitgehende Getrennthaltung verschiedener gebrauchter Lösemittel (sowohl beim Erzeuger als auch bei der Aufarbeitung) und Analytik erforderlich. Insbesondere bei Vermischung von höherwertigen, aromatenfreien Kohlenwasserstofflösemitteln mit minderwertigeren, aromatenhaltigen Kaltreinigern steigt der Aufwand zur Trennung der Stoffe stark an und verhindert häufig den Wiedereinsatz der Rezyklate im ursprünglichen Herkunftsbereich.

– Reststoffrelevanz

Die Ölgehalte der aufzubereitenden Lösemittel liegen meist im Bereich zwischen 20 und 30 Vol.-%. Die Restlösemittelgehalte in den Destillationsrückständen können weniger als 0,2 Vol.-% betragen, wenn die Verunreinigungen während der Destillation flüssig bleiben.

Tabellenverzeichnis Teil A

Seite

Tab. 0-1: Vermeidung von verunreinigten Lösemitteln 8
Tab. 0-2: Verminderung von verunreinigten Lösemitteln 9
Tab. 0-3: Verwertung von verunreinigten Lösemitteln 10
Tab. 2-1: Art und Herkunft von Verunreinigungen 15
Tab. 2-2: Beispiele für Reinigungsanforderungen verschiedener Verfahrensschritte 16
Tab. 2-3: Prüfung der Oberflächenreinheit in der Praxis 17
Tab. 2-4: Stoffeigenschaften gebräuchlicher Lösemittel 18
Tab. 3-1: Chlorierte Lösemittel aus der Teilereinigung (nach TA Abfall) 27
Tab. 3-2: Nicht chlorierte Lösemittel aus der Teilereinigung (nach TA Abfall) . 29
Tab. 3-3: Lösemittelhaltige Schlämme aus der Teilereinigung (nach TA Abfall) . 30
Tab. 4-1: Umstellung von Verfahrensschritten zur Vermeidung einer Reinigung . 34
Tab. 4-2: Angaben zu wäßrigen Reinigungsmedien 38
Tab. 4-3: Aufbereitungsverfahren zur Standzeitverlängerung wäßriger Reinigungsmedien 40
Tab. 4-4: Reststoffe aus der Aufbereitung wäßriger Reinigungsmedien 42
Tab. 4-5: Zusammenhang zwischen Ölgehalt und Siedetemperatur am Beispiel von Tetrachlorethen 55

Abbildungsverzeichnis Teil A

Seite

Abb. 2-1: Kriterien zur Definition der Reinigungsaufgabe 14
Abb. 2-2: Rechtliche Bestimmungen beim Einsatz von Lösemitteln 19
Abb. 2-3: Verfahrenstechnische Parameter bei der Reinigung 23
Abb. 4-1: Schematische Darstellung von Verfahrensstufen bei der Reinigung mit wäßrigen Medien (mit Kaskadenführung der Wasch- und Spülmedien) 35
Abb. 4-2: Beispiel für reinigungsfreundliche Konstruktion 46
Abb. 4-3: Kreislaufführung von Lösemittel am Beispiel von Waschtischen . . . 47
Abb. 4-4: Erforderliche Vorgaben bei der Durchführung von Lösemittelkontrollen 49
Abb. 4-5: Zeitlicher Verlauf der Lösemittelqualität mit und ohne Lösemittelpflege 50
Abb. 4-6: Mögliche Verwertungskreisläufe und Beteiligte bei der Verwertung von gebrauchten Lösemitteln 61

Teil B – Betriebsuntersuchungen

Vorbemerkung zu den Betriebsuntersuchungen

Im folgenden Teil B werden beispielhaft vier Betriebe auf Möglichkeiten der Vermeidung, Verminderung und Verwertung der dort anfallenden Lösemittel untersucht. Betrieb 1 und Betrieb 2 gehören der Metallbranche an, Betrieb 3 und Betrieb 4 der Elektrobranche. Bei der Auswahl der Betriebe wurde versucht, ein möglichst breites Spektrum von Produktionsverfahren abzudecken und Betriebstypen vom größeren mittelständischen Unternehmen bis zum Handwerksbetrieb zu erfassen. Darüber hinaus sollten möglichst verschiedene Reinigungsprobleme sowie Vermeidungs-, Verminderungs- und Verwertungsoptionen anhand praktischer Beispiele dargestellt werden.

Durch die Beschränkung auf vier Betriebe mußten jedoch notwendigerweise Abstriche an der Vollständigkeit der Darstellung möglicher Verfahrensalternativen gemacht werden. So findet sich in den folgenden Betriebsuntersuchungen kein Beispiel für die Umstellung der Reinigung von Lösemitteln auf wäßrige Verfahren. Dies wurde bewußt in Kauf genommen, da diese Thematik in der aktuellen Fachliteratur ausführlich behandelt wird und dort bereits eine Vielzahl von Praxisbeispielen für den erfolgreichen Einsatz der wäßrigen Reinigung dokumentiert ist (s. „Literaturhinweise zu wässrigen Reinigungsverfahren" im Anhang der Broschüre).

Einen wichtigen, jedoch auch umfangreichen und komplexen Aspekt bei der Anwendung von Lösemitteln stellt die Minderung von luftseitigen Emissionen dar. Dieser Aspekt wurde insoweit in die Betriebsuntersuchungen aufgenommen, als bei allen konzeptionellen Vorschlägen zur Reststoffminimierung die Auswirkungen auf die Emissionen berücksichtigt wurden, um eventuelle Problemverlagerungen auszuschließen. Aufgrund des begrenzten Untersuchungsrahmens war es jedoch nicht vorgesehen, gezielt spezifische Maßnahmen zur Emissionsminderung unabhängig von der Reststoffproblematik zu erarbeiten.

In den vier Betrieben wurde durch Vor-Ort-Untersuchungen die Ist-Situation aufgenommen und für mengenrelevante Lösemittel Konzepte zur Reststoffminimierung erarbeitet. Kriterien für die Erarbeitung der Konzepte waren:

- die abfallwirtschaftliche Prioritätensetzung
- die Wirtschaftlichkeit von Vorschlägen zur Reststoffminimierung für die untersuchten Betriebe

Unter abfallwirtschaftlichen Kriterien sollten vorrangig die **Vermeidung** und **Verminderung** von Reststoffen angestrebt werden. Sofern hierzu keine (weiteren) Möglichkeiten bestehen, sollte die **Verwertung** in der Weise durchgeführt werden, daß eine **Schließung von Stoffkreisläufen** erfolgt. Hierunter ist zu verstehen, daß eine stoffliche Verwertung des aufbereiteten Lösemittels im selben Anwendungsbereich stattfindet. Hiermit wird zur dauerhaften Ressourcenschonung und Verminderung der zu entsorgenden Reststoffmengen beigetragen.

Die Wirtschaftlichkeit der in den Konzepten enthaltenen Vorschläge zur Reststoffminimierung wurde unter den Randbedingungen des untersuchten Betriebes beurteilt. Dies heißt beispielsweise, daß die gegenwärtig entstehenden Kosten für Be-

schaffung und Entsorgung berücksichtigt wurden und für die Nutzung vorhandener Anlagen (z. B. Destillationsanlagen) keine Investitionen berücksichtigt wurden. Bei der Bewertung der Ergebnisse der Konzepte wird jedoch ausdrücklich auf diese betriebsspezifischen Randbedingungen hingewiesen, um die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Betriebe zu ermöglichen.

In diesem Sinne dienen die durchgeführten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen (ausführlich dokumentiert durch die Tabellen im Anhang) in erster Linie dazu, das Vorgehen bei einer ökonomischen Bewertung und die wesentlichen Einflußfaktoren aufzuzeigen. Die enthaltenen Kostenangaben, z. B. für Entsorgungspreise, sollten dagegen nur als Anhaltswerte betrachtet werden, da sie starken individuellen, regionalen und zeitlichen Schwankungen unterliegen können.

Betrieb 1: Hersteller von Werkzeugmaschinen und Bearbeitungszentren/Einsatz von halogenfreien Lösemitteln zur Teile- und Gerätereinigung

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	**Allgemeine Angaben zum untersuchten Betrieb**	71
2	**Lösemittelspezifische Angaben zum untersuchten Betrieb**	72
2.1	Untersuchte Anfallstellen für verunreinigte Lösemittel	72
2.2	Anwendungsbereich Teilereinigung	73
2.2.1	Beschreibung der Reinigungsaufgabe	73
2.2.2	Derzeit durchgeführtes Reinigungsverfahren	74
2.3	Anwendungsbereich Spritzpistolen- und Gerätereinigung	75
2.3.1	Beschreibung der Reinigungsaufgabe	75
2.3.2	Derzeit durchgeführtes Reinigungsverfahren	75
3	**Bilanzierung der Stoffströme**	77
4	**Bereits realisierte Maßnahmen zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von verunreinigten Lösemitteln**	79
4.1	Anwendungsbereich Teilereinigung: Vermeidung von verunreinigten Lösemitteln	79
4.2	Anwendungsbereich Spritzpistolen- und Gerätereinigung: Verwertung von verunreinigten Lösemitteln	79
5	**Konzepte zur weitergehenden Vermeidung, Verminderung und Verwertung von verunreinigten Lösemitteln**	83
5.1	Anwendungsbereich Teilereinigung	83
5.1.1	Vermeidung von verunreinigten Lösemitteln durch teilweises Umstellen auf lösemittelfreies Reinigen	83
5.1.2	Verminderung des Anfalls verunreinigter Lösemittel durch Mehrfachnutzung des Lösemittels	83
5.1.3	Verwertung verunreinigter Lösemittel	86
5.1.3.1	Betriebsinterne Destillation des verunreinigten Lösemittels	86
5.1.3.2	Verwertung des verunreinigten Teilereinigungslösemittels durch Lohndestillation	88
5.1.3.3	Externe Verwertung des verunreinigten Lösemittels	89
5.1.3.4	Gegenüberstellung der Wirtschaftlichkeit von Entsorgung, interner Destillation, Lohndestillation und externer Verwertung	90
5.1.4	Verminderung und Verwertung des verunreinigten Lösemittels durch Kombination der vorgeschlagenen Konzepte	91
5.2	Anwendungsbereich Spritzpistolen- und Gerätereinigung – Änderung des Reinigungsverfahrens	91
6	**Zusammenfassung der Möglichkeiten zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von Reststoffen**	92

Tabellenverzeichnis

		Seite
Tab. 2-1:	Aufteilung des Lackierereipersonals und Personalqualifikation	72
Tab. 2-2:	Verschmutzungsrelevante Verfahrensschritte vor der Reinigung	73
Tab. 2-3:	Angaben zu den Lösemitteln für die Teilereinigung	74
Tab. 2-4:	Angaben zum Verdünner für die Spritzpistolen- und Gerätereinigung	75
Tab. 3-1:	Art und Menge der Einsatz- und Reststoffe (Angaben für 1992)	78
Tab. 4-1:	Technische Daten der Destillationsanlage zur Aufbereitung des Verdünners	80
Tab. 4-2:	Verminderungspotential bei der internen Aufarbeitung des Verdünners	81
Tab. 4-3:	Gegenüberstellung der Kosten für den Verdünnereinsatz bei der Geräte- und Spritzpistolenreinigung ohne und mit Destillationsanlage (Angaben Stand 1992)	82
Tab. 5-1:	Verminderungspotential bei Mehrfachnutzung des Teilereinigungslösemittels	85
Tab. 5-2:	Gegenüberstellung der Kosten für den Lösemitteleinsatz bei einmaliger und zweimaliger Verwendung des Lösemittels	85
Tab. 5-3:	Verminderungspotential bei betriebsinterner Destillation des Teilereinigungslösemittels	87
Tab. 5-4:	Gegenüberstellung der Kosten ohne und mit Aufarbeitung des Teilereinigungslösemittels in der vorhandenen Destillationsanlage	88
Tab. 5-5:	Verminderungspotential bei Lohndestillation des Teilereinigungslösemittels	89
Tab. 5-6:	Gegenüberstellung der Kosten für den Lösemitteleinsatz ohne und mit Lohndestillation	89
Tab. 5-7:	Gegenüberstellung der Kosten für das Teilereinigungslösemittel bei Entsorgung, betriebsinterner Destillation, Lohndestillation und externer Verwertung	90

Abbildungsverzeichnis

		Seite
Abb. 3-1:	Bilanzierung der Stoffströme bei der Reinigung mit Lösemitteln in der Lackiererei	78
Abb. 4-1:	Bilanzierung der Stoffströme bei Einsatz einer Destillationsanlage für den verunreinigten Verdünner	81
Abb. 5-1:	Bilanzierung der Stoffströme bei einmaliger und zweimaliger Verwendung des Teilereinigungslösemittels	84
Abb. 5-2:	Bilanzierung der Stoffströme bei Einsatz einer Destillationsanlage für das verunreinigte Teilereinigungslösemittel	87

1 Allgemeine Angaben zum untersuchten Betrieb

Der untersuchte Betrieb ist ein bedeutender Hersteller von Werkzeugmaschinen und Bearbeitungszentren und gehört damit zur Investitionsgüterindustrie. Neben zwei Betriebsstätten an einem Standort in Deutschland verfügt die Firma über verschiedene Auslandsniederlassungen. Derzeit sind in den beiden inländischen Betriebsstätten ca. 1 500 Personen beschäftigt, davon 785 in der Produktion.

Die produzierten Werkzeugmaschinen werden sowohl als Standardmodelle als auch als Spezialanfertigungen nach Kundenwünschen angeboten. Das Lieferspektrum reicht von Einzelmaschinen bis zu kompletten Fertigungsstraßen. Monatlich werden maximal 50 Serienmaschinen gefertigt, dazu kommt eine wechselnde Anzahl von Spezialmaschinen.

Bei der Herstellung werden typische Verfahren der Metallbe- und -verarbeitung, wie z. B. Drehen, Fräsen, Schleifen und Bohren, eingesetzt; als Materialien kommen vorwiegend Guß und Stahl zum Einsatz. Die fertigen Maschinenteile werden im Betrieb selbst lackiert.

Der Produktionsbetrieb besteht aus den Bereichen Maschinenproduktion und Elektrosteuerungsanlagen, wobei sich der größere Teil der Maschinenproduktion in der Betriebsstätte I befindet. In der Betriebsstätte II sind die Elektrofertigung und der kleinere Teil der Maschinenproduktion untergebracht. Die in der vorliegenden Untersuchung betrachtete Maschinenproduktion ist in die Abteilungen mechanische Fertigung und Montage gegliedert. Diese Abteilungen teilen sich jeweils in Unterabteilungen für Standard- und Spezialanfertigungen auf. Hinzu kommen weitere Unterabteilungen, wie z. B. die Instandhaltung für Kundenmaschinen und eigene Produktionsmaschinen, zwei Lackierereien (Betriebsstätten I und II) und der Versand.

2 Lösemittelspezifische Angaben zum untersuchten Betrieb

2.1 Untersuchte Anfallstellen für verunreinigte Lösemittel

Die folgenden Untersuchungen beziehen sich auf die verunreinigten Lösemittel aus den zwei Lackierereien in Betriebsstätte I und II. Darüber hinaus werden in der Teilefertigung für Sondermaschinen und in der Zahnradfertigung Lösemittel eingesetzt. Da dort jedoch nur geringe Reststoffmengen entstehen, werden diese Bereiche nicht weiter betrachtet.

Die Lackierereien der beiden Betriebsstätten sind organisatorisch demselben Betriebsbereich zugeordnet. Sowohl der Einkauf von Betriebsmitteln als auch die Entsorgung von Reststoffen erfolgt gemeinsam. Somit werden alle Angaben zu Lösemittelverbrauch, Reststoffanfall sowie die sonstigen Betriebsdaten für beide Lackierereien gemeinsam erfaßt.

In beiden Lackierereien zusammen sind acht Personen vollzeitbeschäftigt. Die Aufteilung der mit Lösemitteln arbeitenden Personen auf die beiden Betriebsstätten und ihre Qualifikation sind in Tabelle 2-1 dargestellt. Der Betrieb der Lackierereien erfolgt abhängig von der Auftragslage in einer oder zwei Schichten.

Tab. 2-1: Aufteilung des Lackierereipersonals und Personalqualifikation

Anfallstelle	Anwendungsbereich	Anzahl der Personen	Qualifikation
Lackiererei Betriebsstätte I	– Teilereinigung – Geräte- und Spritzpistolenreinigung	6	Facharbeiter (4 Lackierer, 2 Abwascher); dazu kommen ca. 10 Facharbeiter, die nur gelegentlich in der Lackiererei eingesetzt werden
Lackiererei Betriebsstätte II	– Teilereinigung – Geräte- und Spritzpistolenreinigung	2	Facharbeiter (1 Lackierer, 1 Abwascher)

Die Lackiererei der Betriebsstätte I ist in einer eigenen Halle untergebracht. Dort befinden sich drei Spritzkabinen und eine Reinigungskabine mit einer Grundfläche von 58,5 m². In Betriebsstätte II befinden sich eine Spritzkabine und eine Reinigungskabine mit einer Grundfläche von 30 m².

Für die Zwischenlagerung von verunreinigten Lösemitteln und als Standort einer Destillationsapparatur steht in der Betriebsstätte I ein ex-geschützter Raum (ca. 15 m²) zur Verfügung, der räumlich an die Lackiererei angegliedert ist.

In den Lackierereien fallen 17,5 t verunreinigte Lösemittel an, die aus zwei Anwendungsbereichen stammen:

- Das **Teilereinigungslösemittel** besteht aus zwei unterschiedlichen Kohlenwasserstoffgemischen und wird zur Oberflächenreinigung von Teilen vor der Lackierung eingesetzt.
- Der **Verdünner** wird zur Spritzpistolen- und Gerätereinigung eingesetzt. Zur Reinigung wird dieselbe Lackverdünnung benutzt, die auch zur Viskositätseinstellung der verwendeten Lacke für die Spritzapplikation dient.

Im Bezugsjahr 1992 wurden alle in den Lackierereien anfallenden verunreinigten Lösemittel gemeinsam erfaßt und unter der Schlüsselnummer 55370 entsorgt.

Seit Anfang 1993 werden die verunreinigten Kohlenwasserstoffgemische und der Verdünner aus der Spritzpistolenreinigung in getrennten Behältern gesammelt.

2.2 Anwendungsbereich Teilereinigung

2.2.1 Beschreibung der Reinigungsaufgabe

Eigenschaften der zu reinigenden Teile

Bei den zu reinigenden Teilen handelt es sich um einzelne Werkstücke aus dem Betriebsbereich Maschinenproduktion sowie um ganze Maschinen aus den Betriebsbereichen Montage oder Instandhaltung. Das Spektrum der zu reinigenden Teile reicht von einige Zentimeter großen Werkstücken mit einem Gewicht von ca. einem Kilogramm bis hin zu kompletten Werkzeugmaschinen von 3 m Länge und einem Gewicht von 4 bis 5 Tonnen. Alle Teile werden vor der Lackierung mit Lösemitteln gereinigt.

Tabelle 2-2 gibt einen Überblick über verschmutzungsrelevante Verfahrensschritte vor der Reinigung.

Tab. 2-2: Verschmutzungsrelevante Verfahrensschritte vor der Reinigung

Teileart	Verfahrensschritte vor der Reinigung	Verunreinigung
Gußteile, Stahl	Drehen, Fräsen, Gewindeschneiden, Bohren	Emulsion, Schneidöl, Metallspäne, Konservierungsmittel
Größere Maschinenteile vor der Montage	Zwischenlagerung	Konservierungsmittel
Komplette Maschinen	Montieren	Schmieröle, Emulsionen, Konservierungsöle

Anforderungen an die Reinigung aufgrund nachfolgender Verfahrensschritte

Die Teile werden nach der Reinigung mit einem Zweikomponenten-Struktur-Lack auf Lösemittelbasis lackiert. Der Lack wird mit Hilfe von Spritzpistolen auf die Teile gebracht. Dazu müssen die Oberflächen vollständig span- und fettfrei sein.

2.2.2 Derzeit durchgeführtes Reinigungsverfahren

Eingesetztes Reinigungsmittel

Für die Teilereinigung stehen die in Tabelle 2-3 aufgeführten Lösemittel E1a (aromatenfrei) und E1b (aromatenhaltig) zur Verfügung. Die beiden Lösemittel unterscheiden sich in ihrem Lösungsvermögen für Fette und Öle, das bei dem aromatenfreien Lösemittel E1a geringer ist.

Aus Arbeitsschutzgründen wird soweit wie möglich auf das aromatenfreie Lösemittel E1a zurückgegriffen. Bei Reinigungsaufgaben, bei denen die Reinigungswirkung nicht ausreicht, wird es mit dem aromatenhaltigen Lösemittel E1b gemischt. Die Entscheidung über die eingesetzte Menge des stärkeren Lösemittels erfolgt auf Grundlage der Erfahrung der Facharbeiter.

Tab. 2-3: Angaben zu den Lösemitteln für die Teilereinigung

Lösemittelbezeichnung	**E1a**	**E1b**
Siedegrenzen (°C)	140–165	119–128
Dichte (kg/l)	0,75	0,866
Verdunstungszahl (Ether = 1)	20	12
Gefahrenklasse nach VbF	A II	A II
Einkaufspreis	1,59 DM/kg	1,79 DM/kg

Reinigungsverfahren

Die Teilereinigung erfolgt in der Reinigungskabine durch Abspritzen der Teile mit Frischlösemittel mit Hilfe einer Sprühlanze. Der Boden der Reinigungskabine besteht aus einem Gitterrost. Unter diesem befindet sich eine Wanne aus Edelstahl, in der das abtropfende Lösemittel aufgefangen wird. Am Ende der Arbeitswoche wird die Edelstahlwanne ausgepumpt und das verunreinigte Lösemittel bis zur Entsorgung in einem Faß gelagert.

Darüber hinaus werden Teile zur Reinigung mit in Lösemittel getränkten Lappen abgewischt. Hierbei fallen keine verunreinigten Lösemittel an.

Die Trocknung der gereinigten Teile erfolgt durch Verdunstung des Lösemittels bei Raumtemperatur. Die lösemittelbeladene Luft wird von der Lüftungsanlage der Reinigungskabine bzw. der Halle über das Dach abgeleitet. Bei warmer Witterung erfolgt eine zusätzliche Be- und Entlüftung über das geöffnete Außentor.

Kontrolle des Reinigungsergebnisses

Die Kontrolle des Reinigungsergebnisses erfolgt per Augenschein durch die Facharbeiter, die die Reinigung durchgeführt haben. Bei nicht zufriedenstellendem Ergebnis wird nachgereinigt, gegebenenfalls unter Verwendung eines höheren Anteils von Lösemittel E1b.

Entsorgung des Teilereinigungslösemittels

Das verunreinigte Lösemittel wird unter der Schlüsselnummer 55370 (Lösemittelgemische ohne halogenierte organische Lösemittel) einem Entsorger als Sonderabfall überlassen. Es wird bis zur Abholung in Fässern gelagert. Der Zugang zu diesen Fässern wird kontrolliert (nur ein Meister besitzt einen Schlüssel zum Lagerraum der Fässer), so daß unsachgemäßes Entsorgen anderer Flüssigkeiten nicht möglich ist. Das Entsorgungsunternehmen gibt das verunreinigte Lösemittel zur Verbrennung ab.

2.3 Anwendungsbereich Spritzpistolen- und Gerätereinigung

2.3.1 Beschreibung der Reinigungsaufgabe

Für die Lackierung von Stahl-, Guß- und Blechteilen sind in Betriebsstätte I sechs Spritzpistolen und in Betriebsstätte II zwei Spritzpistolen vorhanden. Spritzpistolen und Geräte, die für den Einsatz der Spritzpistolen notwendig sind (Kessel, Leitungen, Pumpen, Mischbehälter, Meßstäbe, Schläuche), werden bei Farbwechseln gereinigt, um eine Verschleppung von Farbresten zu verhindern. Bei der Lackierung von Stahl- und Gußteilen sind häufige Farbwechsel erforderlich, während bei der Blechteilelackierung in der Regel nur eine Standardfarbe eingesetzt wird. Des weiteren erfolgt in allen Lackierkabinen – auch bei der Blechteilelackierung – eine Reinigung der Spritzpistolen und Geräte am Ende des Arbeitstages, um ein Antrocknen des Lacks über Nacht zu vermeiden.

2.3.2 Derzeit durchgeführtes Reinigungsverfahren

Eingesetztes Reinigungsmittel

Für die Reinigung der Spritzpistolen und Geräte wird derselbe Verdünner benutzt, der für die Lackverdünnung eingesetzt wird. Seine Eigenschaften sind in Tabelle 2-4 aufgeführt.

Tab. 2-4: Angaben zum Verdünner für die Spritzpistolen- und Gerätereinigung

Lösemittelbezeichnung	**E2**
Siedegrenzen (°C)	126–185
Dichte (kg/l)	0,888
Verdunstungszahl (Ether = 1)	20
Gefahrenklasse nach VbF	A II
Einkaufspreis	1,92 DM/kg

Reinigungsverfahren

Die Lackversorgung der Spritzpistolen aus einem Vorlagebehälter erfolgt über eine ca. 20 bis 25 m lange Leitung mit dazwischengeschalteter Pumpe. Für die Reinigung wird der Lack-Vorlagebehälter gegen ein Faß mit Verdünner ausgetauscht und so lange reiner Verdünner durch das System gespült, bis alle Farbreste aus Leitung, Pumpe und Spritzpistole entfernt sind. Das verunreinigte Lösemittel wird dabei in einem offenen Faß gesammelt. Eine Reinigung der Spritzpistolen von außen findet mit verdünnergetränkten Lappen statt; hierbei fallen keine verunreinigten Lösemittel an.

Die Kessel und Mischbehälter werden vor der Reinigung auf ein Faß mit Lochblech gestellt, damit die nicht verbrauchten Lackreste abtropfen können. Die anschließende Reinigung der Kessel und Mischbehälter erfolgt durch Befüllen und Ausspülen mit dem Lösemittel E2.

Über die jeweiligen Lösemittelmengen, die für die einzelnen Reinigungsvorgänge eingesetzt werden, liegen keine Angaben vor.

Kontrolle des Reinigungsergebnisses

Die Reinigung ist beendet, wenn der Verdünner, mit dem die Spritzpistolen und Geräte gespült werden, keine Farbverunreinigungen mehr aufweist.

Verwertung des Reinigungsmittels

Der verunreinigte Verdünner wurde im Bezugsjahr 1992 gemeinsam mit den Kohlenwasserstoffgemischen aus der Teilereinigung unter der Schlüsselnummer 55370 einem Entsorger überlassen. Von diesem Entsorger gelangte das verunreinigte Lösemittel anschließend zur Verbrennung. Seit Anfang 1993 wird der Verdünner von dem Teilereinigungslösemittel getrennt gehalten und in einer betriebsinternen Destillationsanlage aufbereitet. Das gewonnene Rezyklat kann anschließend wieder für Reinigungszwecke eingesetzt werden (vgl. hierzu Kap. 4.2).

3 Bilanzierung der Stoffströme

Für die Gesamtbilanzierung der Lösemittelmengen aus der Lackiererei wurden die Einkaufsmengen für das Jahr 1992 herangezogen. Im Anwendungsbereich Teilereinigung wurden insgesamt 2,9 t des Lösemittels E1a und 6,5 t des Lösemittels E1b eingesetzt.

Die eingekaufte Menge an Verdünner teilt sich auf Lackverdünnung und Reinigung auf. Insgesamt wurden 20,9 t eingekauft, von denen ca. 85 % (17,7 t) im Anwendungsbereich Spritzpistolen- und Gerätereinigung eingesetzt wurden. Die restlichen 15 % wurden zur Lackverdünnung eingesetzt und gehen daher nicht in die Bilanz ein.

Die Reststoffe aus den zwei verschiedenen Anwendungsbereichen wurden im Bezugsjahr 1992 gemeinsam gesammelt; es lagen weder detaillierte Verbrauchsangaben noch Analysen der Zusammensetzung vor. Für die getrennte Bilanzierung wurden daher die folgenden vereinfachenden Annahmen getroffen:

- Die anfallende Menge an verunreinigtem Lösemittel teilt sich proportional zu den Einsatzmengen auf die zwei Anwendungsbereiche auf.
- Das verunreinigte Lösemittel aus der Teilereinigung (6,1 t/a) enthält 5 % (0,3 t/a) Verunreinigungen. Diese Annahme beruht auf der Aussage des Betriebes, daß die Reinigungswirkung des Lösemittels nach einmaliger Verwendung noch nicht erschöpft ist.
- Das verunreinigte Lösemittel aus der Spritzpistolen- und Gerätereinigung (11,4 t/a) enthält 25 % (2,9 t/a) Verunreinigungen. Diese Annahme beruht darauf, daß bei der destillativen Aufarbeitung des Verdünners etwa 25 % der eingesetzten Menge als Destillationsrückstand zurückbleiben, der nach der Aussage des Betriebes nur noch geringe Gehalte an Lösemittel enthält.

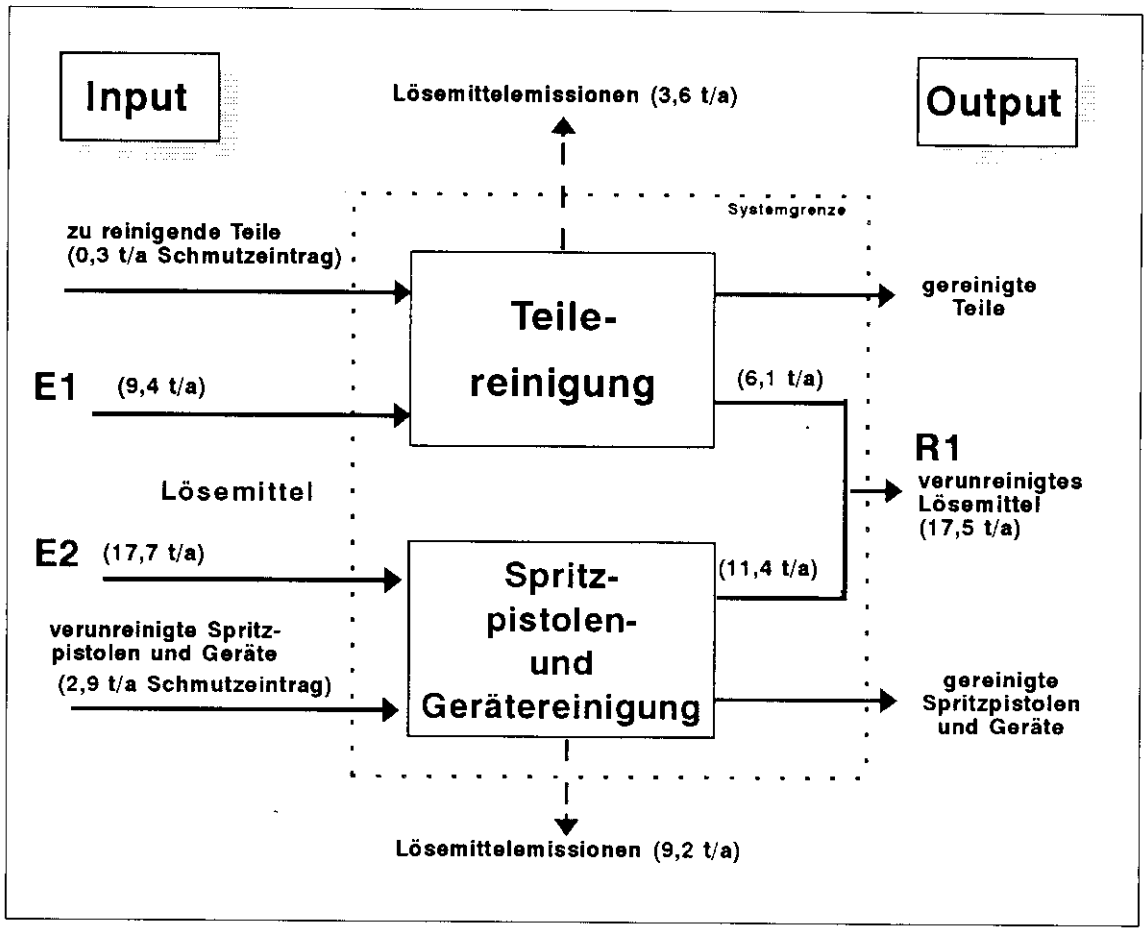


Abb. 3-1: Bilanzierung der Stoffströme bei der Reinigung mit Lösemitteln in der Lackiererei

In Abb. 3-1 und Tabelle 3-1 sind die Stoffströme aus beiden Anwendungsbereichen nach Art und Menge dargestellt. Die Bilanzierung verdeutlicht auch, daß gegenwärtig ein relevanter Anteil der eingesetzten Lösemittel als Emissionen freigesetzt wird. Aufgrund der derzeitigen VOC-Problematik ist zu erwarten, daß hier längerfristig emissionsmindernde Maßnahmen erforderlich werden.

Tab. 3-1: Art und Menge der Einsatz- und Reststoffe (Angaben für 1992)

Einsatz-stoff	Bezeichnung	Menge (t/a)	Entstehende Reststoffe	Rest-stoff	Menge (t/a)	Schl.-Nr.	Entsorgungs-kosten (DM/t)
E1a	Lösemittel-gemisch	2,9	Lösemittel-gemisch, halogenfrei	R1	6,1	55370	1 350[1]
E1b	Lösemittel-gemisch	6,5					
E2	Verdünner	17,7			11,4		

[1] In diesem Betrag ist eine Abfallabgabe in Höhe von 150 DM/t enthalten.

Erläuterungen zu R1 in Tabelle 3-1:
Die Aufteilung des anfallenden Reststoffs erfolgte auf Grundlage der obengenannten Annahmen.

4 Bereits realisierte Maßnahmen zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von verunreinigten Lösemitteln

4.1 Anwendungsbereich Teilereinigung: Vermeidung von verunreinigten Lösemitteln

Umstellung auf wäßriges Reinigungsverfahren in der Blechteilereinigung

Die Blechteile, die zur Verkleidung der Werkzeugmaschinen dienen, werden in Großserien gefertigt und lassen sich aufgrund ihrer Geometrie und des im Vergleich zu Gußteilen geringen Gewichts relativ einfach handhaben. Deshalb entschloß sich der Betrieb schon vor längerer Zeit zur Automatisierung der Reinigung.

Vor der Lackierung werden die Blechteile in einer wäßrigen Reinigungsanlage (mit integrierter Phosphatierung) abgewaschen. Zur Aufbereitung des verunreinigten Wassers wurde eine Wasseraufbereitungsanlage installiert.

Über die Lösemittelmengen, die durch die Umstellung auf ein wäßriges Reinigungsverfahren in der Blechteilereinigung eingespart werden konnten, liegen keine Angaben vor.

Wäßriges Vorreinigen von stark verschmutzten Werkzeugmaschinen

Der untersuchte Betrieb erhält von seinen Kunden gelegentlich Werkzeugmaschinen zur Instandhaltung. Diese Maschinen sind oft stark verschmutzt und müssen vor der Reparatur bzw. Wartung in der Reinigungskabine der Lackiererei in Betriebsstätte I gereinigt werden. Die Maschinen werden mit einem Dampfstrahlgerät, das einen alkalischen Reiniger auf die Werkzeugmaschinen sprüht, vom gröbsten Schmutz befreit. Anschließend erfolgt eine Reinigung mit Lösemittel, wie sie in Kapitel 2.2.2 beschrieben ist.

Mit dieser Maßnahme reduziert sich die für die Hauptreinigung notwendige Lösemittelmenge. Quantitative Angaben hierzu liegen jedoch ebenfalls nicht vor.

4.2 Anwendungsbereich Spritzpistolen- und Gerätereinigung: Verwertung von verunreinigten Lösemitteln

Der untersuchte Betrieb hat bei verschiedenen Anlagenherstellern Versuche zur destillativen Aufbereitung der in den Lackierereien anfallenden Lösemittel durchführen lassen. Aufgrund der Ergebnisse dieser Versuche wurde eine Vakuum-Destillationsanlage gekauft (vgl. Tab. 4-1), mit der seit Anfang 1993 der anfallende Verdünner aus der Spritzpistolenreinigung zurückgewonnen wird.

Tab. 4-1: Technische Daten der Destillationsanlage zur Aufbereitung des Verdünners

Beschickung	kontinuierlich
Verdampfungsdruck	ca. 800 mbar
Regeltemperatur	maximal 160 °C
Stromaufnahme	4 kW
Destillationsleistung	25 l/h (150 l/Tag)
Personalbedarf	0,7 h/Tag (Anlernkraft)
Schutzklasse	Eex

Verminderungspotential

Die bisherigen Betriebserfahrungen mit der Destillationsanlage ergaben, daß größenordnungsmäßig 25 % des eingesetzten verunreinigten Verdünners als Destillationsrückstand anfallen. Ausgehend von 11,4 t verunreinigtem Lösemittel im Bezugsjahr 1992, entspricht dies einer zukünftigen jährlichen Reststoffmenge von 2,9 t/a sowie einer Menge von 8,5 t/a an rückgewonnenem Verdünner.

Der Destillationsrückstand wird zusammen mit den Altlacken und Altfarben unter der Schlüsselnummer 55512 als Sonderabfall entsorgt. Insgesamt ergibt sich also durch Einsatz der Vakuum-Destillationsanlage eine Reststoffverminderung um ca. 75 %.

In Abbildung 4-1 sind die Stoffströme bei Einsatz einer Destillationsanlage für den verunreinigten Verdünner dargestellt. Vereinfachend wird auch hier unterstellt, daß der Destillationsrückstand ausschließlich aus den eingetragenen Verunreinigungen besteht.

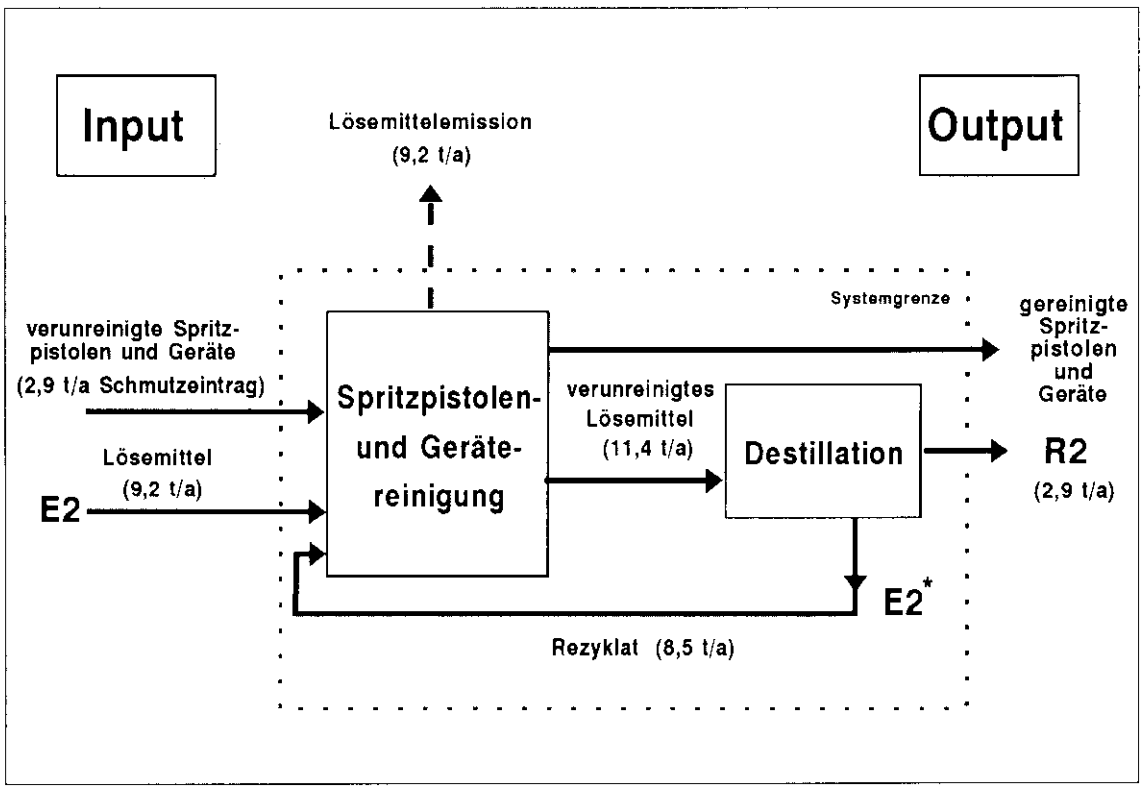


Abb. 4-1: Bilanzierung der Stoffströme bei Einsatz einer Destillationsanlage für den verunreinigten Verdünner

Das Verminderungspotential bei der internen Aufarbeitung des Verdünners ist nachfolgend in Tabellenform (Tab. 4-2) zusammengefaßt.

Tab. 4-2: Verminderungspotential bei der internen Aufarbeitung des Verdünners

Menge	Ohne Destillations-anlage (t/a)	Mit Destillations-anlage (t/a)	Veränderung in %
Zugekaufte Menge Lösemittel E2	17,7	9,2	–48
Entsorgte Menge Reststoffe R2	11,4	2,9	–75

Kostenbetrachtung

In Tabelle 4-3 sind die durchschnittlichen jährlichen Kosten für den Lösemitteleinsatz bei der Geräte- und Spritzpistolenreinigung ohne und mit Destillationsanlage gegenübergestellt (Erläuterung und Herleitung der Kosten im Anhang).

Tab. 4-3: Gegenüberstellung der Kosten für den Verdünnereinsatz bei der Geräte- und Spritzpistolenreinigung ohne und mit Destillationsanlage (Angaben Stand 1992)

Kosten	Ohne Destillationsanlage		Mit Destillationsanlage	
	spezifische Kosten	absolut (DM/a)	spezifische Kosten	absolut (DM/a)
Beschaffungskosten Lösemittel	1,92 DM/kg	34 000	1,92 DM/kg	17 700
Investitionsabhängige Kosten und Betriebskosten	–	–	–	22 400
Entsorgungskosten	Lösemittel-gemisch: 1 350 DM/t[1]	15 400	Destillations-rückstand: 3 100 DM/t[2]	9 000
Gesamtsumme	–	49 400	–	49 100
Einsparungen	ca. 300 DM/a			

[1] In diesem Betrag ist eine Abfallabgabe in Höhe von 150 DM/t (Stand 1992) enthalten.
[2] In diesem Betrag ist eine Abfallabgabe in Höhe von 100 DM/t (Stand 1992) enthalten.

Die Beschaffungs- und Entsorgungskosten für den Verdünner haben sich durch die destillative Aufbereitung um ca. 23 000 DM/a reduziert. Diese Einsparungen wiegen die investitionsabhängigen Kosten und Betriebskosten für die Destillationsanlage auf, so daß sich rechnerisch für das Jahr 1992 in etwa gleiche Kosten für beide Varianten ergeben. Für das Jahr 1993 ist allerdings bereits mit Einsparungen durch die Destillationsanlage zu rechnen, da sich die Abfallabgabe für Lösemittelgemische (Abfallschlüssel-Nr. 55370) auf 300 DM/t und für den Destillationsrückstand (Abfallschlüssel-Nr. 55512) auf 200 DM/t erhöht; durch die größere Menge und die höhere Abfallabgabe für Lösemittel ergibt sich eine höhere Kostenbelastung bei der Entsorgung ohne Destillationsanlage.

Die vergleichsweise geringen Einsparungen durch die Aufarbeitung des Lösemittels ergeben sich vor allem durch die geringe Auslastung der Destillationsanlage, wenn sie ausschließlich zur Destillation des gebrauchten Verdünners eingesetzt wird.

5 Konzepte zur weitergehenden Vermeidung, Verminderung und Verwertung von verunreinigten Lösemitteln

5.1 Anwendungsbereich Teilereinigung

5.1.1 Vermeidung von verunreinigten Lösemitteln durch teilweises Umstellen auf lösemittelfreies Reinigen

In Kapitel 4.1 wurde die wäßrige Reinigung von Kundenmaschinen mittels Dampfstrahlgerät vor Instandhaltungsarbeiten beschrieben. Eine Ausweitung dieses Reinigungsverfahrens auf Anwendungsbereiche innerhalb der Lackiererei wird vom untersuchten Betrieb prinzipiell für möglich gehalten. Dazu müßte durch entsprechende Reinigungsversuche zunächst ermittelt werden, für welche Teilearten und Verunreinigungen eine Umstellung auf lösemittelfreies Reinigen geeignet wäre.

Für das wäßrige Reinigungsmittel ist nach Möglichkeit eine Kreislaufführung bzw. Mehrfachnutzung vorzusehen, um die zu entsorgenden Abwassermengen zu minimieren.

Die Reinigung mit wäßrigem Reinigungsmittel und mit Lösemittel erfolgt in derselben Kabine. Um eine nochmalige Nutzung der Reinigungsmittel nicht zu verhindern, muß darauf geachtet werden, daß diese nicht miteinander vermischt werden. Dazu muß vor Wechsel des Reinigungsmittels die Auffangwanne ausgepumpt werden.

Das mögliche Vermeidungspotential an Lösemitteln ist abhängig von entsprechenden Versuchsergebnissen und kann derzeit nicht abgeschätzt werden.

5.1.2 Verminderung des Anfalls verunreinigter Lösemittel durch Mehrfachnutzung des Lösemittels

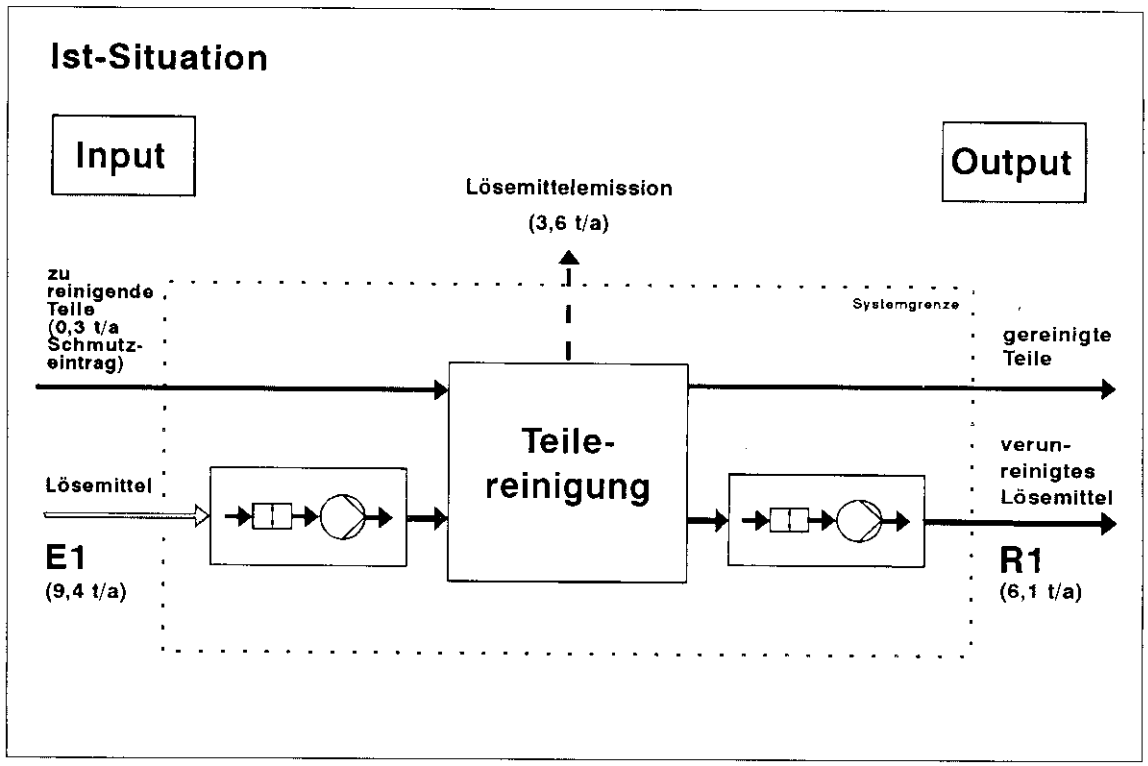
Wie in Kapitel 2.2.2 beschrieben, wird das Lösemittel derzeit bereits nach einmaliger Nutzung entsorgt. Es kann davon ausgegangen werden, daß die Reinigungswirkung des Lösemittels mit diesem einmaligen Einsatz noch nicht erschöpft ist. Um dies zu verifizieren, sollten zunächst Reinigungsversuche ohne Einsatz der Sprühlanze mit dem schon einmal verwendeten Lösemittel durchgeführt werden.

Bei positivem Versuchsergebnis müßten die technischen Voraussetzungen geschaffen werden, um bereits verwendetes, verunreinigtes Lösemittel mit der Sprühlanze auftragen zu können. Dazu muß zwischen Pumpe und Sprühlanze ein geeigneter Filter installiert werden, um feine Verunreinigungen vor der Düse der Sprühlanze zurückzuhalten (ein Grobfilter ist bereits zum Schutz der Pumpe vorgeschaltet). Ein entsprechender Feinfilter wird vom Hersteller zum nachträglichen Einbau angeboten.

Verminderungspotential

Die Durchführbarkeit und der Umfang der Mehrfachnutzung müssen zunächst in Reinigungsversuchen ermittelt werden. Für die Bilanzierung und die Kostenbetrachtung wird von der Annahme einer zweifachen Nutzung ausgegangen. Unter o. g. Annahme ergeben sich damit die in Tabelle 5-1 aufgeführten Verminderungspotentiale.

In Abbildung 5-1 wurden die beiden Einsatzstoffe E1a und E1b aus Gründen der Überschaubarkeit zu einem Einsatzstoff E1 zusammengefaßt.



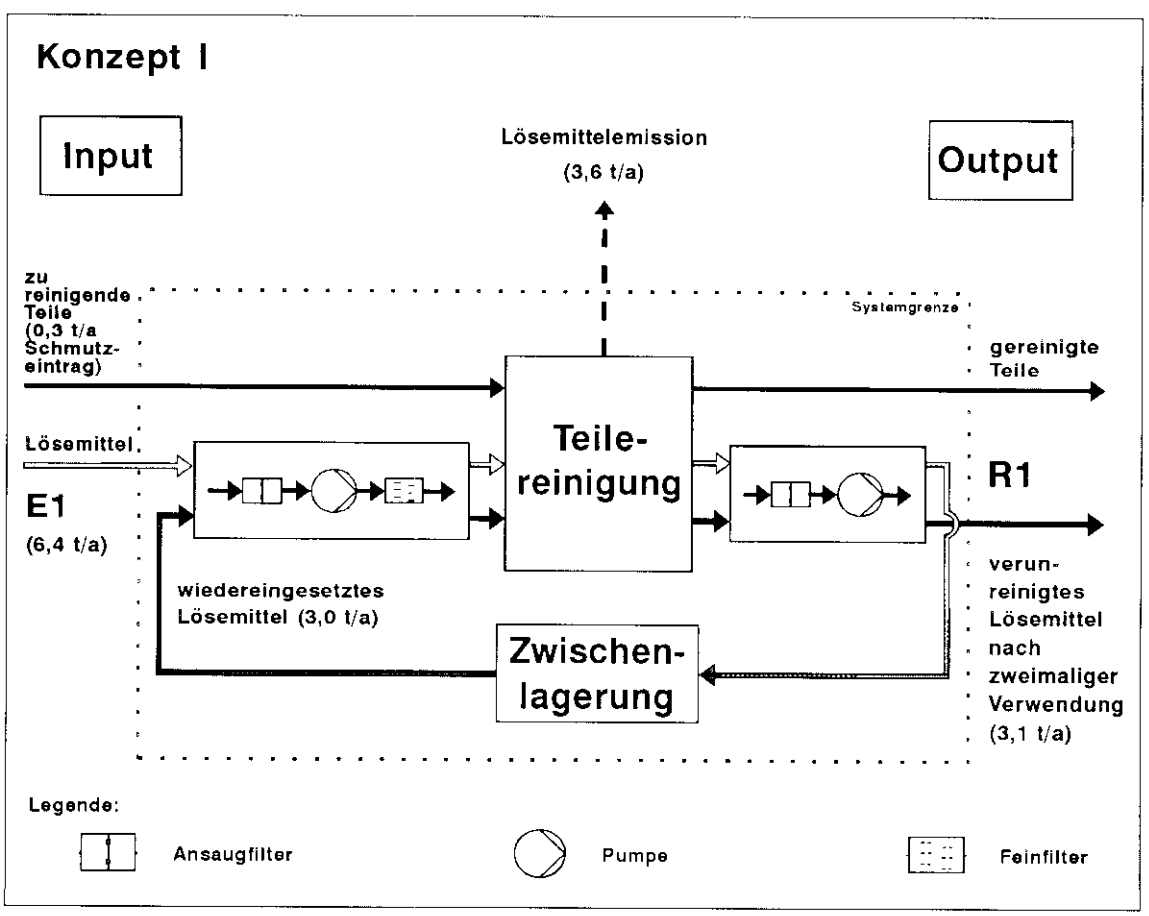


Abb. 5-1: Bilanzierung der Stoffströme bei einmaliger und zweimaliger Verwendung des Teilereinigungslösemittels

Tab. 5-1: Verminderungspotential bei Mehrfachnutzung des Teilereinigungslösemittels

Menge	Ist-Zustand (einmalige Verwendung des Lösemittels) (t/a)	Bei zweimaliger Verwendung des Lösemittels (t/a)	Veränderung in %
Zugekaufte Menge Lösemittel	9,4	6,4	– 32
Entsorgte Menge Reststoffe	6,1	3,1	– 50

Kostenbetrachtung

Für die Mehrfachnutzung des Lösemittels ist die Anschaffung eines Feinfilters erforderlich. Hierfür sind Investitionen in Höhe von ca. 500 bis 800 DM anzusetzen. Die Gegenüberstellung der Kosten für den Lösemitteleinsatz bei einmaliger und zweimaliger Verwendung des Lösemittels ist in Tabelle 5-2 dargestellt.

Tab. 5-2: Gegenüberstellung der Kosten für den Lösemitteleinsatz bei einmaliger und zweimaliger Verwendung des Lösemittels

Kosten	Ist-Zustand (einmalige Verwendung des Lösemittels)		Bei zweimaliger Verwendung des Lösemittels	
	spezifische Kosten	absolut (DM/a)	spezifische Kosten	absolut (DM/a)
Beschaffungskosten Lösemittel	E1: 1,72 DM/kg[1]	16 200	E1: 1,72 DM/kg[1]	11 000
Investitionen (nur im 1. Jahr)	–	–	Feinfilter, maximal 800 DM	800
Entsorgungskosten	Lösemittelgemisch: 1 500 DM/t[2]	9 200	Lösemittelgemisch: 1 500 DM/t[2]	4 600
Gesamtsumme		25 400	–	16 400
Einsparung	ca. 9 000 DM/a			

[1] Mischpreis aus E1a und E1b
[2] In diesem Betrag ist eine Abfallabgabe in Höhe von 300 DM/t (Stand 1993) enthalten.

Durch das vorgeschlagene Konzept zur Mehrfachnutzung des Lösemittels könnten im ersten Jahr nach der Umstellung ca. 9.000 DM eingespart werden, danach ca. 9.800 DM/a, da die Investitionen für den Feinfilter nur im ersten Jahr anfallen.

5.1.3 Verwertung verunreinigter Lösemittel

Für eine Verwertung des verunreinigten Lösemittels bieten sich die drei Varianten an:

- betriebsinterne Destillation
- externe Lohndestillation
- externe Verwertung (über den Lösemittelieferanten)

Diese Möglichkeiten werden im folgenden näher betrachtet.

5.1.3.1 Betriebsinterne Destillation des verunreinigten Lösemittels

Zur betriebsinternen Destillation des verunreinigten Teilereinigungslösemittels kann die in Kapitel 4-2 beschriebene Vakuum-Destillationsanlage eingesetzt werden, die zur Zeit nur teilweise ausgelastet ist. Probedestillationen, die vor dem Kauf der Anlage beim Hersteller durchgeführt wurden, ergaben, daß das verunreinigte Lösemittel destillierbar ist und ein Rezyklat mit vergleichbaren Reinigungseigenschaften wie Einsatzstoff E1b (d. h. aromatenhaltig, stärkere Reinigungskraft) erhalten wird.

Verminderungspotential

Wie in Kapitel 3 dargestellt, wird angenommen, daß das verunreinigte Lösemittel 5 % Verunreinigungen enthält. Aufgrund der Ergebnisse der Probedestillation kann von einer weitgehenden Rückgewinnung ausgegangen werden. Für die folgenden Betrachtungen wird daher vereinfachend eine Rückgewinnungsrate von 100 % unterstellt. Somit würde nur noch ein flüssiger Rückstand (bestehend aus Emulsionen, Schmierölen und Konservierungsmitteln) von ca. 0,3 t (R3) gegenüber 6,1 t vor der Destillation verbleiben.

Die Stoffbilanz für die betriebsinterne Destillation ist in Abbildung 5-2 dargestellt. Die beiden Einsatzstoffe E1a und E1b wurden aus Gründen der Überschaubarkeit zu einem Einsatzstoff E1 zusammengefaßt.

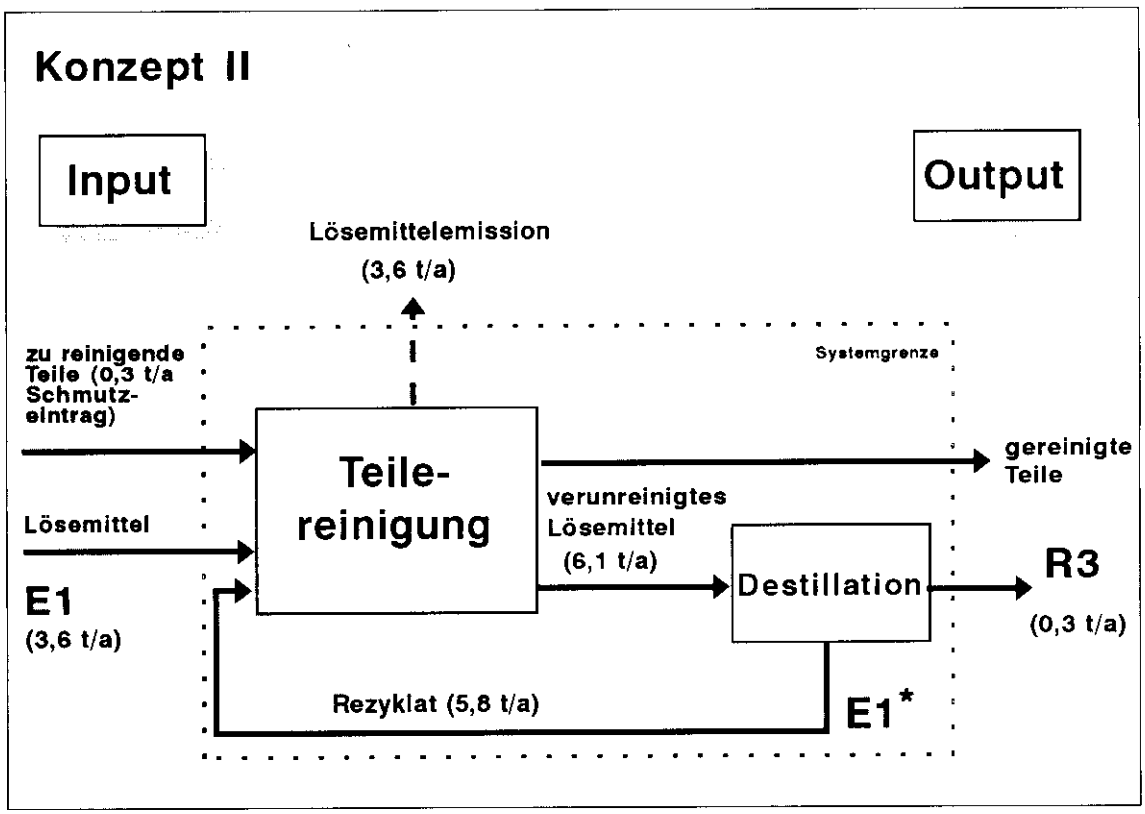


Abb. 5-2: Bilanzierung der Stoffströme bei Einsatz einer Destillationsanlage für das verunreinigte Teilereinigungslösemittel

Unter diesen Annahmen ergeben sich die in Tabelle 5-3 angegebenen Mengenreduzierungen.

Tab. 5-3: Verminderungspotential bei betriebsinterner Destillation des Teilereinigungslösemittels

Menge	Ist-Zustand (Entsorgung) (t/a)	Betriebsinterne Destillation (t/a)	Veränderung in %
Zugekaufte Menge Lösemittel	9,4	3,6	– 62
Entsorgte Menge Reststoffe	6,1	0,3	– 95

Kostenbetrachtung

Die Kapazität der vorhandenen Vakuum-Destillationsanlage reicht aus, um neben dem Verdünner die anfallende Menge an verunreinigtem Teilereinigungslösemittel aufzuarbeiten. Für die Destillation des Teilereinigungslösemittels werden daher keine investitionsabhängigen Kosten angesetzt (vgl. Tab. 5-4, Erläuterung und Herleitung der Kosten siehe Anhang).

Tab. 5-4: Gegenüberstellung der Kosten ohne und mit Aufarbeitung des Teilereinigungslösemittels in der vorhandenen Destillationsanlage

Kosten	Ist-Zustand (Entsorgung)		Betriebsinterne Destillation	
	spezifische Kosten	absolut (DM/a)	spezifische Kosten	absolut (DM/a)
Beschaffungskosten Lösemittel	E1: 1,72 DM/kg	16 200	E1: 1,72 DM/kg	6 200
Anteilige Betriebskosten	–	–	–	1 900
Entsorgungskosten	Lösemittelgemisch: 1 500 DM/t[1)]	9 200	Destillationsrückstand: 1 500 DM/t[2)]	500
Gesamtsumme	–	25 400	–	8 600
Einsparung	ca. 16 800 DM/a			

[1)] In diesem Betrag ist eine Abfallabgabe in Höhe von 300 DM/t (Stand 1993) enthalten.
[2)] In diesem Betrag ist eine Abfallabgabe in Höhe von 200 DM/t (Stand 1993) enthalten.

Die Beschaffungs- und Entsorgungskosten der Lösemittel reduzieren sich durch die destillative Aufbereitung um ca. 18 700 DM/a. Diese Einsparungen überwiegen die zusätzlichen Betriebskosten für die vorhandene Destillationsanlage, so daß sich eine Kosteneinsparung von ca. 16 800 DM/a ergibt.

5.1.3.2 Verwertung des verunreinigten Teilereinigungslösemittels durch Lohndestillation

Eine weitere Verwertungsmöglichkeit für das verunreinigte Lösemittel stellt die Lohndestillation dar. In diesem Fall gibt das Verwertungsunternehmen das Regenerat an den Kunden zurück, der es anschließend im selben Anwendungsbereich wieder einsetzen kann.

Voraussetzung für die Annahme des verunreinigten Lösemittels durch einen Lohndestillateur ist eine Mindestreststoffmenge von 1 000 l (5 Fässer à 200 l).

Verminderungspotential

Das Verminderungspotential bei der externen Lohndestillation entspricht dem bei der betriebsinternen Destillation. Vereinfachend wird daher ebenfalls von einer Rückgewinnung von 100 % des enthaltenen Lösemittels durch den Lohndestillateur ausgegangen. Die zu entsorgenden Reststoffmengen reduzieren sich damit auf 0,3 t/a, die beim Lohndestillateur anfallen. Für den untersuchten Betrieb ergibt sich damit die in Tabelle 5-5 dargestellte Mengenbilanz.

Tab. 5-5: Verminderungspotential bei Lohndestillation des Teilereinigungslösemittels

Menge	Ist-Zustand (Entsorgung) (t/a)	Lohndestillation (t/a)	Veränderung in %
Zugekaufte Menge Lösemittel	9,4	3,6	– 62
Entsorgte Menge Reststoffe im Betrieb	6,1	0,0	– 100

Kostenbetrachtung

In Tabelle 5-6 sind die durchschnittlichen jährlichen Kosten für den Lösemitteleinsatz ohne und mit Lohndestillation des Lösemittels gegenübergestellt (zur Herleitung der Entsorgungskosten bei der Lohndestillation siehe Anhang).

Tab. 5-6: Gegenüberstellung der Kosten für den Lösemitteleinsatz ohne und mit Lohndestillation

Kosten	Ist-Zustand		Mit Lohndestillation	
	spezifische Kosten	absolut (DM/a)	spezifische Kosten	absolut (DM/a)
Beschaffungskosten Lösemittel	E1: 1,72 DM/kg	16 200	E1: 1,72 DM/kg	6 200
Entsorgungskosten	Lösemittelgemisch: 1 500 DM/t[1)]	9 200	-	
Aufarbeitungskosten	–	–	1 200 DM/t	7 300
Gesamtsumme	–	25 400	–	13 500
Einsparung	ca. 11 900 DM/a			

[1)] In diesem Betrag ist eine Abfallabgabe in Höhe von 300 DM/t (Stand 1993) enthalten.

Damit ergibt sich für das Konzept der Lohndestillation gegenüber dem Ist-Zustand eine jährliche Kosteneinsparung von ca. 11 900 DM.

5.1.3.3 Externe Verwertung des verunreinigten Lösemittels

Der Hersteller der beiden Lösemittel E1a und E1b bietet die faßweise (200 l) Rücknahme des verunreinigten Lösemittels an. Dieses wird vom Hersteller an einen Verwerter weitergegeben, der verunreinigte Lösemittelgemische aus unterschiedlichen Anwendungsbereichen zu einem Regenerat aufarbeitet und an den Lösemittelhersteller zurückgibt. Das Regenerat hat eine verringerte Fettlösekraft und kann deshalb nur für minderwertige Produkte verarbeitet werden. Der Lösemittelhersteller nutzt es zur Herstellung von Wasch- und Reinigungsmitteln.

Verminderungspotential

Für den Betrieb ändern sich die Einkaufsmenge und die anfallende Reststoffmenge gegenüber dem Ist-Zustand nicht. Da aber die Reststoffmenge beim Verwerter aufgearbeitet wird und dort nur ein geringer Aufarbeitungsrückstand anfällt, wird in der abfallwirtschaftlichen Gesamtbetrachtung durch die externe Aufarbeitung der Anfall von Lösemittelabfällen etwa im gleichen Ausmaß wie bei der betriebsinternen Destillation reduziert.

Kostenbetrachtung

Die Kosten für die Rücknahme des Lösemittels durch den Hersteller liegen zwischen 600 und 1 800 DM/t. Der genaue Preis wird aufgrund der Ergebnisse einer Analyse festgelegt, die der Verwertungsbetrieb von einer Probe jeder Charge des aufzuarbeitenden Lösemittels anfertigt. Das verunreinigte Lösemittel wird bei der Lieferung von Frischware mitgenommen; hierfür werden keine zusätzlichen Transportkosten in Rechnung gestellt. Des weiteren entfällt die Abfallabgabe, da das Lösemittel einer stofflichen Verwertung zugeführt wird.

Der Entsorgungspreis inklusive Abfallabgabe betrug 1992 1 350 DM/t. Nach der Erhöhung der Abfallabgabe ab 1993 beträgt er nun 1 500 DM/t und bewegt sich daher bereits im oberen Bereich der genannten Aufarbeitungskosten.

5.1.3.4 Gegenüberstellung der Wirtschaftlichkeit von Entsorgung, interner Destillation, Lohndestillation und externer Verwertung

Wie in den Kapiteln 5.1.3.1, 5.1.3.2 und 5.1.3.3 dargestellt wurde, ergeben sich für die einzelnen stofflichen Verwertungsmöglichkeiten unterschiedliche Kosteneinsparungen gegenüber dem bestehenden Entsorgungsweg. In Tabelle 5-7 sind zum Vergleich die durchschnittlichen jährlichen Kosten für den Lösemitteleinsatz bei Entsorgung, betriebsinterner Destillation, Lohndestillation und externer Verwertung gegenübergestellt.

Tab. 5-7: Gegenüberstellung der Kosten für das Teilereinigungslösemittel bei Entsorgung, betriebsinterner Destillation, Lohndestillation und externer Verwertung

Kosten	Entsorgung als Abfall (Ist-Zustand)	Betriebs-interne Destillation	Lohn-destillation	Externe Verwertung
	absolut (DM/a)	absolut (DM/a)	absolut (DM/a)	absolut (DM/a)
Beschaffungskosten Lösemittel	16 200	6 200	6 200	16 200
Anteilige Betriebskosten für Destillation	–	1 900	–	–
Entsorgungskosten	9 200	500	–	3 700–11 000
Aufarbeitungskosten	–	–	7 300	–
Summe	ca. 25 400	ca. 8 600	ca. 13 500	ca. 19 900–27 200

Die Gegenüberstellung zeigt, daß unter wirtschaftlichen Kriterien die innerbetriebliche Aufarbeitung des Teilereinigungslösemittels in der vorhandenen Destillationsanlage eindeutig die günstigste Variante darstellt. Gegenüber der jetzt praktizierten Entsorgung als Abfall ergeben sich jährliche Einsparungen von nahezu 17 000 DM.

5.1.4 Verminderung und Verwertung des verunreinigten Lösemittels durch Kombination der vorgeschlagenen Konzepte

Zur weitergehenden Reststoffverminderung könnten die in Kapitel 5.1.2 (Mehrfachnutzung des Lösemittels) und 5.1.3.1 (Betriebsinterne Destillation) beschriebenen Konzepte miteinander kombiniert werden.

Über das tatsächliche Verminderungspotential kann derzeit keine Aussage getroffen werden, da es von den Versuchsergebnissen zur Mehrfachnutzung des Teilereinigungslösemittels abhängt.

5.2 Anwendungsbereich Spritzpistolen- und Gerätereinigung – Änderung des Reinigungsverfahrens

Wie in Kapitel 2.3.2 beschrieben wurde, wird das Lösemittel derzeit in einmaligem Durchlauf zur Reinigung eingesetzt, anschließend in Fässern gesammelt und destilliert. Das bereits verwendete, verunreinigte Lösemittel könnte analog zur Teilereinigung (vgl. Kap. 5.1.2) zur Reinigung der Spritzpistolen und Geräte mehrfach genutzt werden.

Allerdings unterliegt im Gegensatz zur Teilereinigung der Verunreinigungsgrad des einmal verwendeten Lösemittels erheblichen Schwankungen (die in Kap. 3 getroffene Annahme von 25 % Farbgehalt stellt einen geschätzten Mittelwert für den gesamten Anwendungsbereich Spritzpistolen- und Gerätereinigung dar, d. h. der Farbgehalt kann in einzelnen Anwendungsfällen wesentlich niedriger bzw. höher sein).

Durch entsprechende Versuche sollte daher zuerst ermittelt werden, in welchen einzelnen Anwendungsbereichen und in welchem Maße (z. B. nur zur Vorreinigung) eine mehrfache Nutzung möglich wäre (vgl. zum Verfahren der Kreislaufführung Teil A Kap. 4.1). Anhand der Versuchsergebnisse könnten dann die Bereiche bei der Spritzpistolen- und Gerätereinigung ausgewählt werden, in denen eine Mehrfachnutzung durchgeführt werden kann.

6 Zusammenfassung der Möglichkeiten zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von Reststoffen

Im untersuchten Betriebsbereich der Lackiererei werden zwei unterschiedliche halogenfreie Lösemittel eingesetzt, das Teilereinigungslösemittel und der Verdünner. Diese Lösemittel wurden bis 1992 gemeinsam als Abfall entsorgt. Der Betrieb hat vor kurzem eine Vakuum-Destillationsanlage gekauft, mit der der gebrauchte Verdünner aus der Spritzpistolen- und Gerätereinigung aufgearbeitet wird. Damit wird die Reststoffmenge um ca. 75 % reduziert und das rückgewonnene Lösemittel in den gleichen Anwendungsbereich zurückgeführt.

Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ergeben sich durch den Einsatz der Vakuum-Destillationsanlage zunächst nur geringfügige Einsparungen. Dies beruht auf der relativ geringen Auslastung der Destillationsanlage, die zur Zeit ausschließlich zur Aufarbeitung des Verdünners eingesetzt wird.

Das Teilereinigungslösemittel wird augenblicklich noch als Abfall entsorgt. Hier bieten sich prinzipiell die Möglichkeiten der betriebsinternen Destillation, der Lohnaufarbeitung und der Rückgabe an den Lieferanten an, der das Lösemittel aufarbeiten läßt und das Regenerat selbst vermarktet. Im letzteren Fall wird allerdings aufgrund der gemeinsamen Aufarbeitung mit anderen gebrauchten Lösemitteln nur ein Regenerat erhalten, das für minderwertige Einsatzzwecke abgegeben wird. Die Schließung von Stoffkreisläufen ist hier also nicht gegeben.

Die vergleichende Bewertung der Wirtschaftlichkeit der drei Verwertungsmöglichkeiten zeigt, daß unter den gegebenen Randbedingungen (eine geeignete Destillationsanlage ist bereits vorhanden und noch nicht ausgelastet) die betriebsinterne Destillation eindeutig am besten abschneidet. Gegenüber dem Ist-Zustand ergeben sich für den untersuchten Betrieb Einsparungen in Höhe von 16 800 DM/a. Dabei wird eine Reststoffreduktion um ca. 95 % erreicht.

Darüber hinaus wird empfohlen, sowohl für das Teilereinigungslösemittel als auch für den Verdünner Möglichkeiten der Mehrfachnutzung vor der Destillation zu prüfen. Entsprechende Maßnahmen ließen sich mit nur geringfügigen Investitionen realisieren. Weiterhin kann auch eine stärkere Nutzung der bislang in Teilbereichen praktizierten wäßrigen Reinigung in Frage kommen. Beide Möglichkeiten setzen zunächst Vorversuche voraus, um notwendige technische und organisatorische Randbedingungen zu klären. Erst im Rahmen dieser Vorversuche können Aussagen über das weitergehende Reduktionspotential für Lösemittel gemacht werden.

Betrieb 2: Mittelständischer Hersteller von Spritzpistolen/Einsatz von halogenfreien Lösemitteln zur Teile- und Geräte-reinigung

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	**Allgemeine Angaben zum untersuchten Betrieb**	95
2	**Lösemittelspezifische Angaben zum untersuchten Betrieb**	96
2.1	Untersuchte Anfallstellen für verunreinigte Lösemittel	96
2.2	Anwendungsbereich Teilereinigung	97
2.2.1	Beschreibung der Reinigungsaufgabe	97
2.2.2	Derzeit durchgeführtes Reinigungsverfahren	98
2.3	Anwendungsbereich Geräte- und Spritzpistolenreinigung	99
2.3.1	Beschreibung der Reinigungsaufgabe	99
2.3.2	Derzeit durchgeführtes Reinigungsverfahren	100
3	**Bilanzierung der Stoffströme**	102
3.1	Anwendungsbereich Teilereinigung	102
3.2	Anwendungsbereich Geräte- und Spritzpistolenreinigung	103
4	**Bereits realisierte Maßnahmen zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von verunreinigten Lösemitteln**	105
4.1	Anwendungsbereich Teilereinigung: Vermeidung von verunreinigten Lösemitteln	105
4.2	Anwendungsbereich Geräte- und Spritzpistolenreinigung	105
4.2.1	Verminderung des Anfalls verunreinigter Lösemittel	105
4.2.2	Verwertung verunreinigter Lösemittel	106
5	**Konzepte zur weitergehenden Vermeidung, Verminderung und Verwertung von verunreinigten Lösemitteln**	109
5.1	Anwendungsbereich Teilereinigung	109
5.1.1	Verminderung des Anfalls verunreinigter Lösemittel durch Umstellung des Reinigungsverfahrens	109
5.1.2	Verwertung des verunreinigten Teilereinigungslösemittels durch interne Destillation	114
5.1.3	Verwertung des verunreinigten Teilereinigungslösemittels durch Lohndestillation	117
5.1.4	Gegenüberstellung der Wirtschaftlichkeit von interner Destillation, Lohndestillation und externer Aufbereitung	118
5.2	Anwendungsbereich Geräte- und Spritzpistolenreinigung	119
6	**Zusammenfassung der Möglichkeiten zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von Reststoffen**	120

Tabellenverzeichnis

Seite

Tab. 2-1: Untersuchte Anfallstellen und Anwendungsbereiche von Lösemitteln . 96
Tab. 2-2: Verschmutzungsrelevante Verfahrensschritte vor der Reinigung 97
Tab. 2-3: Erforderliche Reinheitsgrade aufgrund nachfolgender Verfahrensschritte bei der Teilereinigung 98
Tab. 2-4: Angaben zum Teilereinigungslösemittel 98
Tab. 2-5: Angaben zum Gerätereinigungsmittel 100
Tab. 3-1: Art und Menge der Einsatz- und Reststoffe bei der Teilereinigung (Angaben für 1992) 103
Tab. 3-2: Art und Menge der Einsatz- und Reststoffe bei der Geräte- und Spritzpistolenreinigung (Angaben für 1992) 104
Tab. 4-1: Technische Daten der Destillationsanlage zur Aufbereitung des Gerätereinigungslösemittels 106
Tab. 4-2: Verminderungspotential bei der internen Aufarbeitung des Gerätereinigungslösemittels 108
Tab. 4-3: Gegenüberstellung der Kosten für den Lösemitteleinsatz bei der Geräte- und Spritzpistolenreinigung ohne und mit Destillationsanlage . 108
Tab. 5-1: Technische Daten der automatischen Reinigungsanlage 110
Tab. 5-2: Angaben zum Teilereinigungslösemittel für die automatische Reinigungsanlage 111
Tab. 5-3: Verminderungspotential durch Einsatz der automatischen Reinigungsanlage 112
Tab. 5-4: Gegenüberstellung der Kosten bei manueller und automatischer Teilereinigung 112
Tab. 5-5: Technische Daten der Destillationsanlage zur Aufbereitung des Teilereinigungslösemittels 114
Tab. 5-6: Verminderungspotential durch Einsatz der automatischen Reinigungsanlage mit betriebsinterner Destillation 115
Tab. 5-7: Gegenüberstellung der Kosten für den Lösemitteleinsatz in offenen Reinigungsbehältern und in der automatischen Teilereinigungsanlage mit betriebsinterner Destillation des Lösemittels 115
Tab. 5-8: Gegenüberstellung der Kosten für den Lösemitteleinsatz in offenen Reinigungsbehältern und in der automatischen Teilereinigungsanlage mit Lohndestillation des Lösemittels 118
Tab. 5-9: Gegenüberstellung der Kosten für den Lösemitteleinsatz in der automatischen Teilereinigungsanlage bei betriebsinterner Destillation, Lohndestillation und externer Aufarbeitung 119

Abbildungsverzeichnis

Seite

Abb. 3-1: Bilanzierung der Stoffströme bei der Teilereinigung 102
Abb. 3-2: Bilanzierung der Stoffströme bei der Geräte- und Spritzpistolenreinigung 104
Abb. 4-1: Einsparung an Gerätereinigungslösemittel durch den Einsatz einer Destillationsanlage 107
Abb. 5-1: Einsparung an Teilereinigungslösemittel durch den Einsatz einer automatischen Reinigungsanlage 113
Abb. 5-2: Einsparung an Teilereinigungslösemittel durch den Einsatz einer Destillationsanlage 116

1 Allgemeine Angaben zum untersuchten Betrieb

Im folgenden wird ein mittelständisches Unternehmen der metallverarbeitenden Industrie untersucht, das Spritzpistolen und Apparate für die Anwendung in der Lackiertechnik herstellt. Insgesamt sind in diesem Betrieb 250 Personen beschäftigt, von denen 160 in der Produktion arbeiten.

Der Produktionsbetrieb ist in die Bereiche Vorfertigung, Drehen, Feindrehen und Montage gegliedert. Der Produktion folgen die Qualitätssicherung und der Versand. Darüber hinaus gehören eine eigene Entwicklungsabteilung, ein Schulungsbereich für Kunden (Anwendungstechnik für die hergestellten Spritzpistolen und Apparate) sowie eine Reparaturabteilung zum Betrieb.

2 Lösemittelspezifische Angaben zum untersuchten Betrieb

2.1 Untersuchte Anfallstellen für verunreinigte Lösemittel

Innerhalb des Betriebs wurden die in Tabelle 2-1 mit den entsprechenden Anwendungsbereichen aufgeführten Anfallstellen von verunreinigten Lösemitteln näher untersucht. Tabelle 2-1 gibt außerdem die Zugehörigkeit der mit Lösemittel arbeitenden Personen zu diesen Betriebsbereichen sowie die Qualifikation der Mitarbeiter an. Insgesamt sind in den genannten Bereichen ca. 60 Personen beschäftigt.

Darüber hinaus werden auch im Bereich Reparatur Lösemittel eingesetzt. Dort entstehen jedoch nur geringe Reststoffmengen, die im folgenden nicht gesondert betrachtet werden.

Tab. 2-1: Untersuchte Anfallstellen und Anwendungsbereiche von Lösemitteln

Anfallstellen	Anwendungsbereich	Anzahl der Personen	Qualifikation
Vorfertigung, Drehen, Feindrehen	Teilereinigung	53	2 Meister, 20 Facharbeiter, 31 Angelernte
Qualitätskontrolle, Entwicklung, Schulung	Geräte- und Spritzpistolenreinigung	7	2 Meister, 5 Facharbeiter

Die Produktionsbereiche Vorfertigung, Dreherei und Feindreherei sind in drei aneinander grenzenden Maschinenhallen (mit einer Grundfläche von 404 m², 547 m², 399 m²) untergebracht. Die Hallen verfügen über eine zentrale Raumluftabsaugung an der Dekke, die Abluft wird über Dach abgeleitet.

Die Bereiche Qualitätssicherung, Entwicklung und Schulung befinden sich getrennt von der Produktion in einem anderen Stockwerk. Für Spritzversuche in der Entwicklung, zur Qualitätskontrolle sowie zur Kundenschulung steht eine Spritzkabine (28 m²) mit Abzugseinrichtung zur Verfügung. In einem Lagerraum für Einsatz- und Reststoffe (60 m²) ist eine Destillationsapparatur untergebracht, mit der Lösemittel aus der Geräte- und Spritzpistolenreinigung regeneriert werden.

Bei den anfallenden verunreinigten Lösemitteln handelt es sich um zwei verschiedene halogenfreie Kohlenwasserstoffgemische:

- Das sogenannte **Teilereinigungslösemittel** wird zur Oberflächenreinigung von Teilen eingesetzt, die in den Bereichen Vorfertigung, Dreherei und Feindreherei hergestellt bzw. bearbeitet werden. 1992 wurde eine Reststoffmenge von 6 t unter der Schlüsselnummer 55326 entsorgt.
- Das sogenannte **Gerätereinigungslösemittel** wird zur Reinigung von Geräten und Spritzpistolen in den Bereichen Qualitätskontrolle, Entwicklung und Schulung eingesetzt und in einer hauseigenen Destillationsanlage aufbereitet. Die Rückstände aus der destillativen Aufbereitung wurden unter der Schlüsselnummer 55512 entsorgt (1992: 0,5 t).

Die beiden Anwendungsbereiche Teilereinigung und Geräte- und Spritzpistolenreinigung werden im folgenden getrennt behandelt.

2.2 Anwendungsbereich Teilereinigung

2.2.1 Beschreibung der Reinigungsaufgabe

Eigenschaften der zu reinigenden Teile

Bei den zu reinigenden Teilen handelt es sich um Kleinteile von zum Teil sehr hoher Präzision und Oberflächengüte. Es werden unterschiedliche Metallwerkstoffe, z. B. Aluminium, Messing, Edelstahl und Automatenstahl eingesetzt. Die Teile besitzen eine Größe im Bereich zwischen ca. 5 mm und 150 mm und weisen zum Teil komplizierte Geometrien auf (Düsenbohrungen, Sacklöcher etc.). Es werden ca. 750 unterschiedliche Teile hergestellt, die Gesamtproduktion liegt bei ca. 1,4 Millionen Einzelteilen pro Jahr. Im Verlauf der Fertigung durchläuft ein gewisser Anteil der zu bearbeitenden Teile (die genaue Zahl ist nicht bekannt) mehrmals das in Kapitel 2.2.2 näher beschriebene Reinigungsverfahren, da nach jedem Bearbeitungsschritt eine Zwischenreinigung erfolgt.

Tabelle 2-2 gibt einen Überblick über verschmutzungsrelevante Verfahrensschritte vor der Reinigung und die Art der Verunreinigungen der zu reinigenden Teile.

Tab. 2-2: Verschmutzungsrelevante Verfahrensschritte vor der Reinigung

Teileart	Bearbeitungsmaschinen (Anzahl, Typ)	Verfahrensschritte vor der Reinigung	Verunreinigung
Teile mit unempfindlichen Oberflächen	9 kurvengesteuerte Drehmaschinen 3 Langdreher	Drehen, Fräsen, Gewindeschneiden, Bohren	Schneidöl, Späne
	2 CNC-Maschinen 3 programmgesteuerte Maschinen	Drehen, Fräsen, Gewindeschneiden, Bohren	Emulsion, Späne
Teile mit empfindlichen Oberflächen	6 CNC-Drehmaschinen	Feindrehen, Fräsen, Gewindeschneiden, Bohren, Schleifen	Emulsion, Späne
	5 CNC-Drehmaschinen	Feindrehen, Fräsen, Gewindeschneiden, Bohren, Schleifen	Schneidöl, Späne

Grundsätzlich lassen sich bei der Teilereinigung aufgrund der Anforderungen der nachfolgenden Verfahrensschritte drei Reinheitsgrade:

- niedrig
- mittel
- sehr hoch

unterscheiden, wie in der folgenden Tabelle 2-3 dargestellt.

Tab. 2-3: Erforderliche Reinheitsgrade aufgrund nachfolgender Verfahrensschritte bei der Teilereinigung

Verfahrensschritte nach der Reinigung	Erforderlicher Reinheitsgrad	Zu reinigende Teilezahl Stück/Jahr (Stück/Tag)
Mechanische Weiterbearbeitung	gering: Die Teile müssen lediglich spanfrei sein, um eine exakte Positionierung in den Bearbeitungsmaschinen zu ermöglichen.	keine Angaben möglich, da die Anzahl der Teile, die mehrfach Zwischenreinigungen unterzogen werden, nicht bekannt ist
Galvanisierung	mittel: Eine vollständige Spanfreiheit ist unbedingt erforderlich. Die Teile werden in der Galvanik einer weiteren Entfettung in einem wäßrigen Verfahren unterzogen, die vollständige Entfettung ist daher nicht erforderlich.	ca. 500 000 (ca. 2 000) entspricht ca. 1/3 aller hergestellten Teile
Montage	sehr hoch: Die Teile werden z. T. verklebt und müssen daher vollständig span- und fettfrei sein.	ca. 900 000 (ca. 4 000) entspricht ca. 2/3 aller hergestellten Teile

2.2.2 Derzeit durchgeführtes Reinigungsverfahren

Eingesetztes Reinigungsmittel

Zur Teilereinigung wird ein aromatenfreies Kohlenwasserstoffgemisch eingesetzt, das die in Tabelle 2-4 dargestellten Eigenschaften aufweist.

Tab. 2-4: Angaben zum Teilereinigungslösemittel

Gefahrenklasse nach VbF	A I
Siedegrenzen (°C)	104–140
Dichte (kg/l)	0,748
Verdunstungszahl (Ether = 1)	9,1
Einkaufspreis	1,80 DM/kg

Reinigungsverfahren

Die Teilereinigung erfolgt derzeit manuell. Die in Tabelle 2-3 unterschiedenen Reinheitsanforderungen haben im untersuchten Betrieb in der Praxis keinen Einfluß auf die Wahl des Reinigungsverfahrens. Das bestimmende Beurteilungskriterium zur Wahl des Reinigungsverfahrens ist vielmehr die Oberflächenempfindlichkeit der mit Öl, Emulsionen und Spänen verunreinigten Teile (vgl. Tab. 2-2). Es lassen sich zwei Vorgehensweisen unterscheiden:

– Reinigung von Teilen mit unempfindlichen Oberflächen
– Reinigung von Teilen mit empfindlichen Oberflächen

Reinigung von Teilen mit unempfindlichen Oberflächen:
Teile mit unempfindlichen Oberflächen werden als Schüttgut in kleinen Körben gesammelt und in offene Tauchbecken (Füllvolumen ca. 5 bis 7 l) mit Lösemittel eingehängt; die Reinigung wird durch manuelles Tauchen und Schwenken der Körbe unterstützt. Dieses Verfahren wird bei ca. 40 % aller Reinigungsvorgänge eingesetzt. Alle Tauchbecken für Schüttgut befinden sich an einer zentralen Stelle.

Reinigung von Teilen mit empfindlichen Oberflächen:
Teile mit empfindlichen Oberflächen werden aus den jeweiligen Bearbeitungsmaschinen entnommen und einzeln in direkt an der Maschine aufgestellte offene Gefäße (Füllvolumen ca. 3 l) mit Lösemittel gelegt; die Reinigung wird durch manuelles Schwenken der Teile beim Entnehmen unterstützt. Dieses Verfahren hat einen Anteil von ca. 60 % an allen Reinigungsvorgängen.

Die Trocknung der Teile erfolgt durch Verdunstung des leichtflüchtigen Lösemittels unter Raumbedingungen; die Absaugung erfolgt über die zentrale Raumlüftungsanlage. Die trockenen Teile werden nach der Stückzahlbestimmung (durch Auswiegen) entweder an das Zwischenlager der Montage (für maximal vier Wochen) oder an die hauseigene Galvanik abgegeben.

Kontrolle des Reinigungsergebnisses

Für die manuell durchgeführte Reinigung bestehen keine standardisierten Vorgaben hinsichtlich der Dauer des Reinigungsvorgangs und der Standzeit des Lösemittels. Die Entscheidung, das Lösemittel zu wechseln, liegt bei dem jeweiligen Bediener einer Maschine. Die Kontrolle des Reinigungsergebnisses basiert auf dessen persönlicher Erfahrung und wird per Augenschein durchgeführt.

Eine endgültige Kontrolle des Reinigungsergebnisses erfolgt in der Montage. Ist zum Beispiel bei zu klebenden Teilen die Klebefläche nicht völlig fettfrei oder klemmt beim Zusammensetzen ein Gewinde, weil das Teil noch nicht spanfrei ist, werden die Teile zur erneuten Reinigung an die Produktion zurückgegeben.

Entsorgung des Teilereinigungslösemittels

Das verschmutzte Lösemittel wird zusammen mit verbrauchten Schneidölen bis zur Abholung durch den Entsorger in einem Tank gelagert. Der Zugang zu diesem Tank wird kontrolliert, so daß unsachgemäßes Entsorgen anderer Flüssigkeiten nicht möglich ist.

2.3 Anwendungsbereich Geräte- und Spritzpistolenreinigung

2.3.1 Beschreibung der Reinigungsaufgabe

Gereinigt werden Spritzpistolen und die für deren Einsatz benötigten Geräte (Kessel, Leitungen, Pumpen, Mischbehälter, Meßstäbe, Schläuche).

Geräte und Spritzpistolen, die in der Qualitätskontrolle, der Schulung und der Entwicklung unter Praxisbedingungen getestet werden, sind mit Lack- und Farbresten der unterschiedlichsten Hersteller, Typen und Farben verunreinigt. Vor den nachfolgenden

Verfahrensschritten – Wiedereinsatz beim Kunden bzw. im Betrieb selbst – müssen alle noch vorhandenen Farbreste entfernt werden.

2.3.2 Derzeit durchgeführtes Reinigungsverfahren

Eingesetztes Reinigungsmittel

Die Geräte- und Spritzpistolenreinigung erfolgt mit einem Lösemittel, das die in Tabelle 2-5 dargestellten Eigenschaften aufweist.

Tab. 2-5: Angaben zum Gerätereinigungsmittel

Gefahrenklasse nach VbF	A I
Siedepunkt/-grenzen (°C)	keine Angabe
Dichte (kg/l)	0,836
Verdunstungszahl (Ether = 1)	keine Angabe
Einkaufspreis	2,06 DM/kg

Das Gerätereinigungslösemittel wird eingesetzt als:

- Frischware: Hierbei handelt es sich um das direkt vom Hersteller bezogene Lösemittel.
- Rezyklat: Hierbei handelt es sich um das aus der internen Destillation gewonnene Lösemittel; dieses weist die gleichen Eigenschaften wie die Frischware auf.
- Kreislauflösemittel: Hierbei handelt es sich um Reinigungslösemittel (Frischware oder Rezyklat), das bereits zu Reinigungszwecken eingesetzt wurde und mehrfach verwendet wird, bevor es in die interne Destillation gelangt.

Reinigungsverfahren

Für die **Gerätereinigung** wird ein manuelles Reinigungsverfahren angewendet. Zunächst werden Mischbehälter und Kessel auf ein Lochblech gestellt, durch das noch anhaftende Lackreste in ein Faß abtropfen können. Die Reinigung von Mischbehältern, Kesseln und Leitungen erfolgt durch Befüllen und Ausspülen mit Kreislauflösemittel. Die verunreinigten Pumpen werden ebenfalls mit Kreislauflösemittel durchgespült. Für diese Arbeitsschritte werden je nach Verunreinigung zwischen 2,5 und 10 l Kreislauflösemittel eingesetzt. Die Nachreinigung erfolgt mit Frischware (0,5 bis 1,5 l).

Die Reinigung der lackverunreinigten **Spritzpistolen** erfolgt sowohl manuell als auch teilautomatisch. Bei der manuellen Reinigung wird der Farbbecher mit einem lösemittelgetränkten Pinsel ausgewischt und Lösemittel durch die Spritzpistole gespritzt. Anschließend werden die äußeren Teile abgerieben und abgebürstet. Für diesen Arbeitsschritt werden ca. 0,25 l Frischware bzw. Rezyklat eingesetzt.

Zu Arbeitsende werden in der Regel alle Spritzpistolen mit einem speziellen Reinigungsgerät gesäubert. Dazu müssen Düse und Farbbecher demontiert werden. Die Spritzpistole wird dann mit einem Schlauch an das Reinigungsgerät angeschlossen und mit Kreislauflösemittel durchgespült. Nach dem Anlösen der Farbreste wird noch einmal kurz mit Frischware nachgespült, um Schlieren zu vermeiden, die bei der Verwendung von Kreislauflösemittel eventuell zurückbleiben. Das benutzte Kreislauflösemittel bzw. die Frischware werden im Reinigungsgerät in einem Faß aufgefangen und wiedereingesetzt. Durch diese Mehrfachnutzung werden Lösemittelverbrauch und Reststoffanfall erheblich reduziert.

Zusammenfassend bietet das manuelle Reinigungsverfahren den Vorteil, daß die Spritzpistolen nicht demontiert werden müssen und somit weniger Zeit zum Reinigen benötigt wird. Deshalb wird dieses Verfahren in der Regel während des Arbeitstages angewendet (eine Reinigung ist hier allerdings nur dann erforderlich, wenn ein Farbwechsel vorgenommen wird). Das teilautomatisierte Verfahren hat dagegen den Vorteil des geringeren Frischware- bzw. Rezyklatverbrauchs. Angaben zur prozentualen Aufteilung der beiden Verfahren im untersuchten Betrieb sind nicht möglich.

Kontrolle des Reinigungsergebnisses

Für die manuell durchgeführte Reinigung der Geräte bestehen keine standardisierten Vorgaben hinsichtlich der Dauer des Reinigungsvorgangs und der Mehrfachnutzung des Lösemittels. Die Kontrolle des Reinigungsergebnisses basiert auf der persönlichen Erfahrung der Beschäftigten. Bei der Spritzpistolenreinigung wird durch das Durchsprühen von Lösemittel eine Prüfung der Spritzqualität der Luft- und Farbdüsen (und damit einer ausreichenden Reinigungswirkung) durchgeführt.

Verwertung des Gerätereinigungslösemittels

Das verunreinigte Lösemittel wird in 30 l-Kanistern gesammelt und, wie bereits erwähnt, im Betrieb in einer Destillationsanlage chargenweise aufgearbeitet. Das Rezyklat wird anschließend wieder zur Geräte- und Spritzpistolenreinigung eingesetzt. Als Abfall fällt nur der Destillationsrückstand an.

3 Bilanzierung der Stoffströme

3.1 Anwendungsbereich Teilereinigung

Die Stoffströme bei der Teilereinigung sind in Abbildung 3-1 schematisch dargestellt. Für die Gesamtbilanzierung der Lösemittelmengen aus der Teilereinigung wurden die Angaben für das Jahr 1992 herangezogen. Für den Schmutzeintrag lagen zum damaligen Zeitpunkt keine Analysen vor. Aufgrund der Angaben zum Ölgehalt des gebrauchten Lösemittels aus der 1993 eingeführten automatischen Teilereinigungsanlage (vgl. Kap. 5.1.1) wird jedoch ein Schmutzeintrag von 0,5 t/a abgeschätzt. Da der Schmutzeintrag nicht vom Reinigungsverfahren, sondern von den vorgeschalteten Bearbeitungsschritten resultiert, kann dieser Wert auch für die Bilanzierung der manuellen Reinigung angesetzt werden.

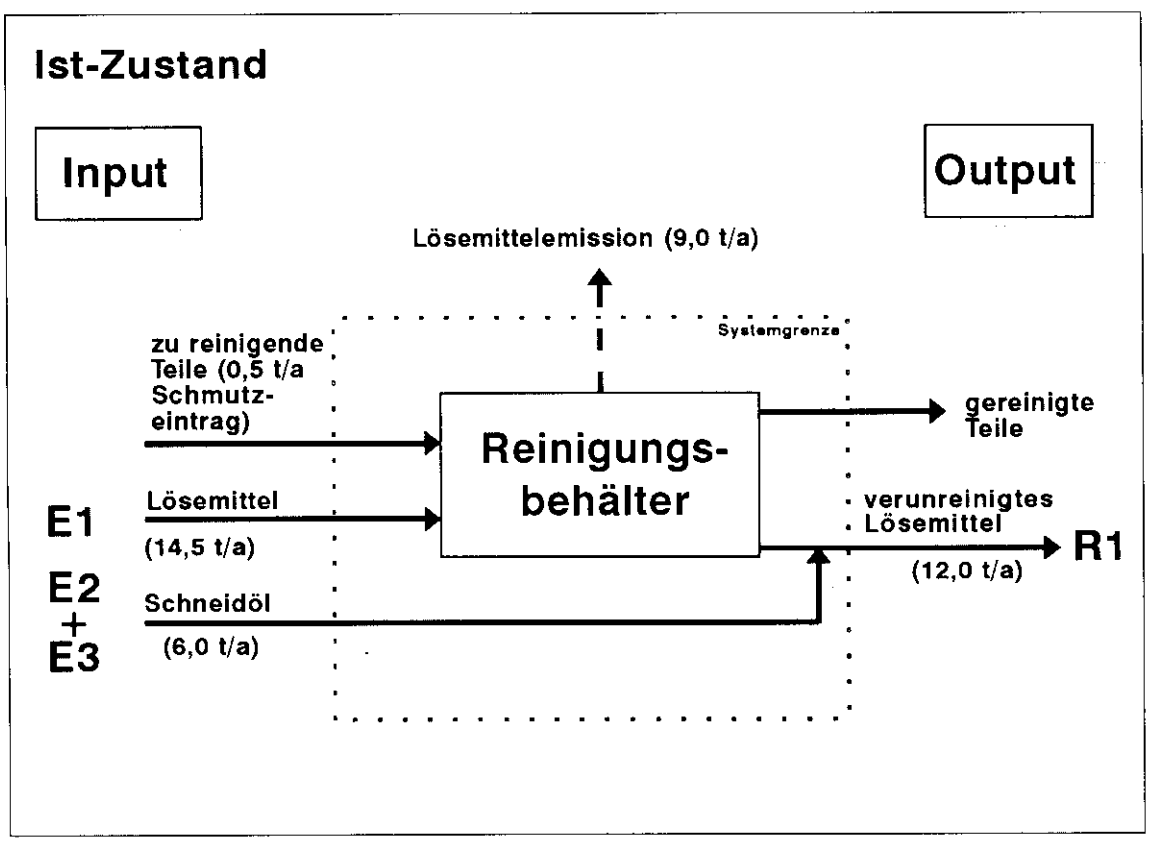


Abb. 3-1: Bilanzierung der Stoffströme bei der Teilereinigung

In Tabelle 3-1 sind die bei der Teilereinigung anfallenden Stoffströme nach Art und Menge dargestellt.

Tab. 3-1: Art und Menge der Einsatz- und Reststoffe bei der Teilereinigung (Angaben für 1992)

Einsatz-stoff	Bezeichnung	Menge (t/a)	Entstehende Reststoffe	Rest-stoff	Menge (t/a)	Schl.-Nr.	Entsorgungs-kosten (DM/kg)
E1	Teilereinigungs-lösemittel	14,5	Lösemittel-gemisch	R1	12	55326 Wasch-benzin	1,32
E2	Schneidöl: nicht wassermisch-barer Kühlschmier-stoff, chlorhaltig	6	Altöl				
E3	Schneidöl: nicht wassermisch-barer Kühlschmier-stoff, chlorhaltig						

Erläuterung zu R1 in Tabelle 3-1:

Die beim Schneidölaustausch an den entsprechenden Bearbeitungsmaschinen entstandenen Reststoffmengen wurden 1992 gemeinsam mit den verunreinigten Lösemittelreststoffen in einem Behälter entsorgt. Für den Reststoff mußte keine Abfallabgabe entrichtet werden, da er einer thermischen Verwertung zugeführt wurde.

3.2 Anwendungsbereich Geräte- und Spritzpistolenreinigung

Die Stoffströme bei der Geräte- und Spritzpistolenreinigung sind in Abbildung 3-2 schematisch dargestellt. Für die Gesamtbilanzierung der Lösemittelmengen wurden die Angaben für 1992 herangezogen. In diesem Jahr wurden 2 520 l Gerätereinigungslösemittel eingekauft, von denen nach Schätzungen des Betriebs 10 % zum Verdünnen von Farben und Lacken verwendet wurden. Die restliche Menge (ca. 2 270 l ≙ 1,9 t) wurde demnach zur Reinigung eingesetzt.

In der vorhandenen Destillationsanlage wird das verunreinigte Lösemittel aus der Geräte- und Spritzpistolenreinigung destilliert. Hierdurch werden aus der ursprünglichen Menge ca. 90 % Rezyklat zurückgewonnen und wieder bei der Gerätereinigung eingesetzt. Der verbleibende Destillationsrückstand besteht aus den in den Lacken und Farben enthaltenen Feststoffen.

Des weiteren werden in unregelmäßigen Abständen die aufgefangenen Reststoffe aus dem Abtropffaß destilliert (E2 in Abbildung 3-2). Sie enthalten je nach eingesetztem Lack zwischen 10 und 90 % Lösemittel. Im Durchschnitt wird durch die Destillation eine Gewichtsreduzierung um die Hälfte erreicht. Das gewonnene Destillat wird als Gerätereinigungsmittel eingesetzt.

In Tabelle 3-2 sind die für den untersuchten Bereich Geräte- und Spritzpistolenreinigung anfallenden Stoffströme nach Art und Menge dargestellt. Insgesamt waren 1992 ca. 7,8 t Lösemittel im Kreislauf-Einsatz, wovon 1,9 t als Frischware hinzugekauft wurden.

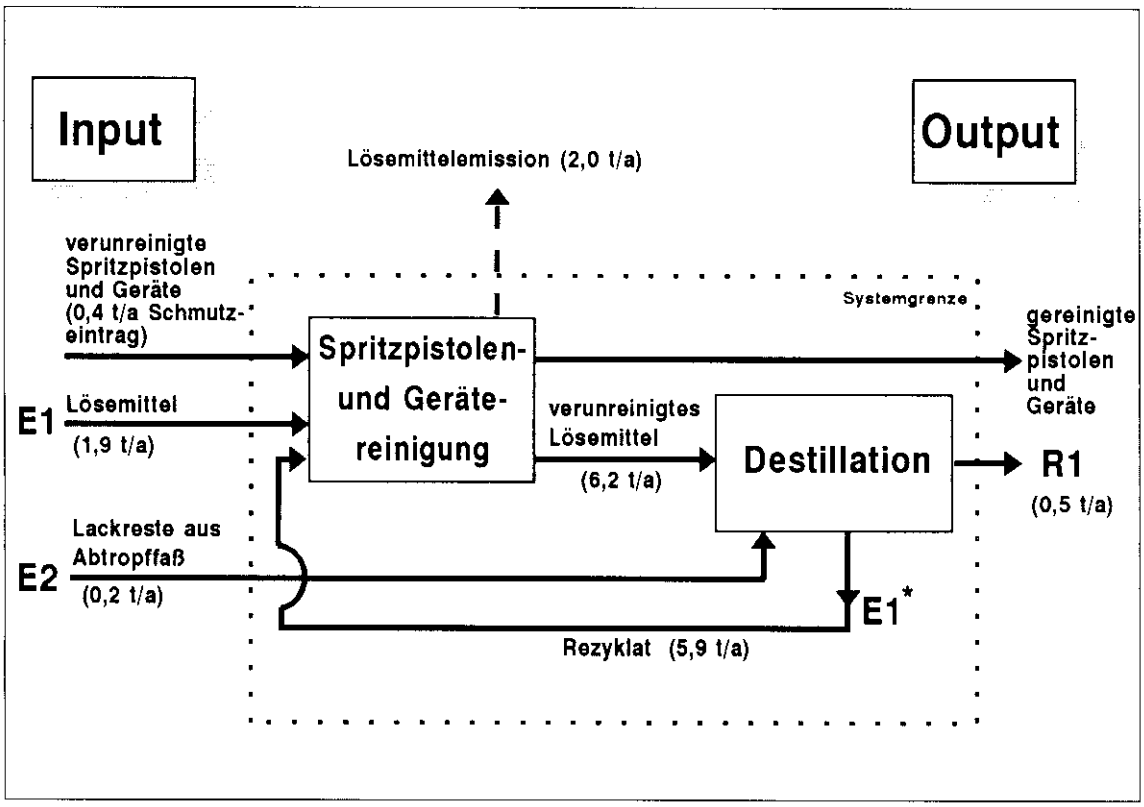


Abb. 3-2: Bilanzierung der Stoffströme bei der Geräte- und Spritzpistolenreinigung

Tab. 3-2: Art und Menge der Einsatz- und Reststoffe bei der Geräte- und Spritzpistolenreinigung (Angaben für 1992)

Einsatz-stoff	Bezeichnung	Menge (t/a)	Entstehende Reststoffe	Rest-stoff	Menge (t/a)	Schl.-Nr.	Entsorgungs-kosten (DM/t)
E1	Gerätereinigungs-lösemittel	1,9	Destillations-rückstand, pastös	R1	0,4	55512 Altlacke, Altfarben nicht ausgehärtet	3 000
E1*	Rezyklat	5,9					
E2	Farb- und Lack-reste (verschiedene Hersteller, Typen und Farben)	0,2	Destillations-rückstand		0,1		

Erläuterung zu R1 in Tabelle 3-2:

Die aus der destillativen Aufarbeitung des Gerätereinigungslösemittels bzw. der Farb- und Lackreste entstehenden Destillationsrückstände wurden zusammen entsorgt und enthalten nur noch geringe Mengen an Lösemittel. Da die Reststoffmenge unter 500 kg/a lag, wurde keine Abfallabgabe gezahlt.

4 Bereits realisierte Maßnahmen zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von verunreinigten Lösemitteln

4.1 Anwendungsbereich Teilereinigung: Vermeidung von verunreinigten Lösemitteln

Trockene Bearbeitung mit Hochleistungswerkzeugen

Bestimmte Messingteile werden mit Hochleistungswerkzeugen an zwei CNC-Drehmaschinen trocken, d. h. ohne Einsatz von Kühlschmierstoffen oder Schneidölen, bearbeitet. Der Reinigungsaufwand wird dadurch erheblich verringert, da die Teile nur vor Ort durch Abblasen von Spänen befreit werden müssen und dann direkt in anderen Maschinen weiterbearbeitet werden können. Eine Teilereinigung mit Lösemittel entfällt vollständig.

Zwischenreinigung in der Bearbeitungsmaschine durch Abblasen der Teile mit Luft und Tauchen in wäßrige Lösung

An insgesamt drei Bearbeitungszentren sind jeweils zwei Druckluftdüsen zur Säuberung des Werkzeugs am Ende eines Bearbeitungsvorgangs angebracht. Eine dieser Düsen wurde so ausgerichtet, daß sie gleichzeitig auch das Werkstück abbläst und die an den Teilen anhaftenden Späne entfernt. Anschließend werden die Teile innerhalb der Maschine in kleinen Tauchbecken mit wäßriger Lösung zwischengereinigt. Diese Tauchbecken wurden vom Betrieb selbst konstruiert und so angebracht, daß der Roboterarm zwischen der Herausnahme des Teils aus dem Werkstückhalter und dem Ablegen das Teil einmal taucht.

Eine Zwischenreinigung mit Lösemittel entfällt somit vollständig.

4.2 Anwendungsbereich Geräte- und Spritzpistolenreinigung

4.2.1 Verminderung des Anfalls verunreinigter Lösemittel

Reduzierung von Lösemittelmengen zur Gerätereinigung

Ein Großteil der an den Geräten haftenden Farb- und Lackreste wird in einem Faß durch Abtropfen aufgefangen (ca. 0,2 t/a). Mit dieser Maßnahme reduziert sich die für die Gerätereinigung notwendige Lösemittelmenge, da an den Geräten nur noch eine dünne Lackschicht zu entfernen ist.

Mehrfachnutzung des Reinigungslösemittels

Zur Pumpen- und Kesselreinigung wird das Lösemittel mehrfach verwendet. Dazu wird es in den Originallösemittelbehältern gesammelt und beim nächsten Reinigen wieder eingesetzt. Bei der Spritzpistolenreinigung in den halbautomatischen Reinigungsgeräten wird das Lösemittel ebenfalls im Kreislauf geführt. Erst wenn das Reinigungsergebnis nicht mehr ausreichend ist – dies bestimmt der die Reinigung durchführende Mitarbeiter durch Sichtkontrolle –, wird das verunreinigte Lösemittel zur Destillation abgegeben.

4.2.2 Verwertung verunreinigter Lösemittel

Betriebsinterne Aufarbeitung des verunreinigten Gerätereinigungsmittels

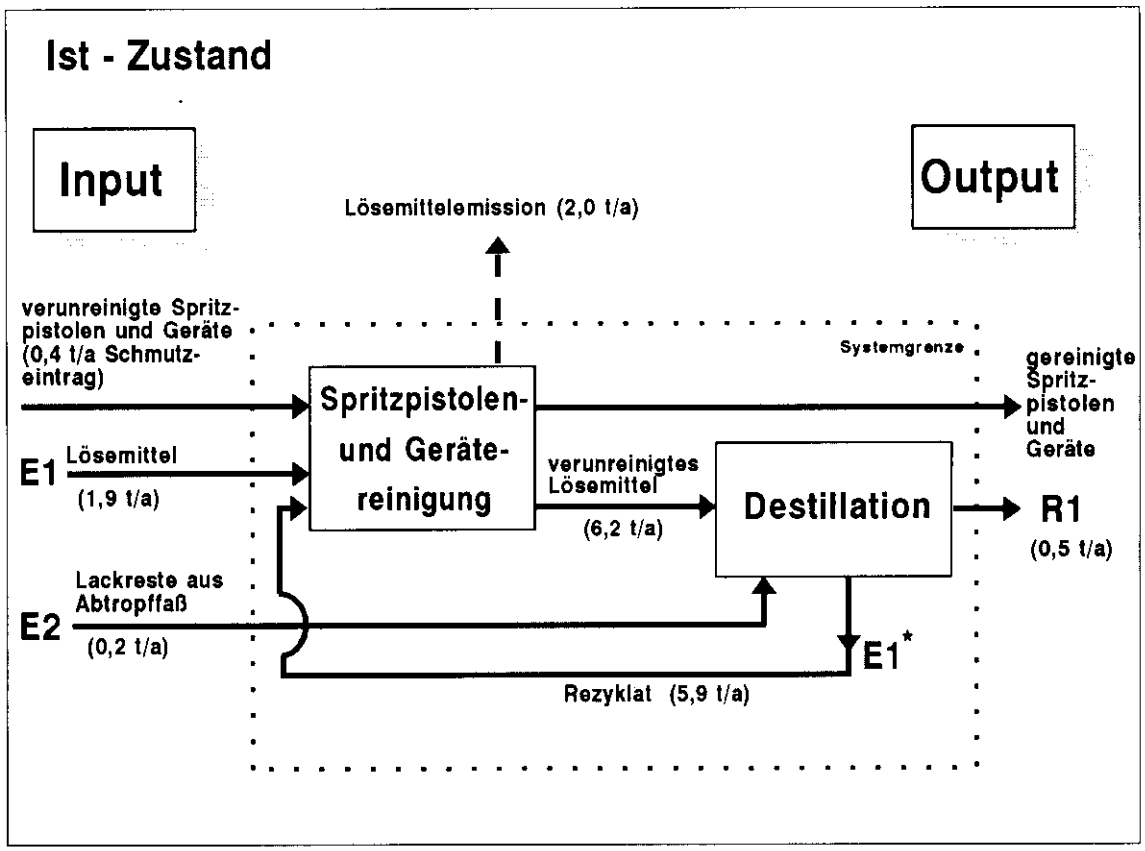
Um die zur Geräte- und Spritzpistolenreinigung benötigten hohen Mengen an extern zugekauftem Lösemittel (durchschnittlich 7,8 t/a) zu reduzieren, hat der untersuchte Betrieb im Jahr 1991 eine eigene Vakuum-Destillationsanlage zur Rückgewinnung des gebrauchten Lösemittels gekauft. Die technischen Daten dieser Anlage sind in Tabelle 4-1 aufgeführt.

Tab. 4-1: Technische Daten der Destillationsanlage zur Aufbereitung des Gerätereinigungslösemittels

Fassungsvermögen Vakuumkessel	25 l
Regeltemperatur	maximal 160 °C
Stromaufnahme	1,84 kW
Zyklusdauer	3,5 bis 4 Stunden
Personalbedarf	0,75 h/Tag (Anlernkraft)
Schutzklasse	Eex oder II B-T2

Verminderungspotential

Wie in Abbildung 4-1 und Tabelle 4-2 dargestellt, konnten die eingekaufte Menge Lösemittel und die zu entsorgende Restmenge durch den Einsatz der Destillationsanlage drastisch reduziert werden.



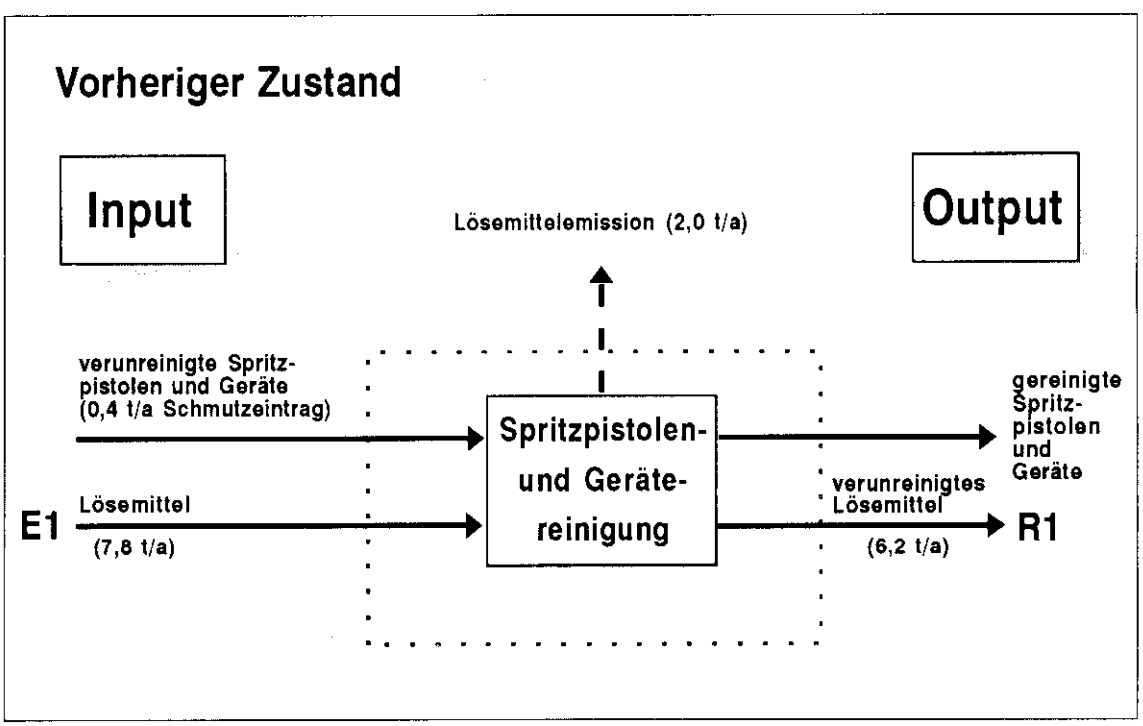


Abb. 4-1: Einsparung an Gerätereinigungslösemittel durch den Einsatz einer Destillationsanlage

Tab. 4-2: Verminderungspotential bei der internen Aufarbeitung des Gerätereinigungslösemittels

Menge	Ohne Destillations-anlage (t/a)	Mit Destillations-anlage (t/a)	Veränderung in %
Zugekaufte Menge Lösemittel	7,8	1,9	–75
Entsorgte Menge Reststoffe	6,2	0,5	–92

Kostenbetrachtung

Die jährlichen Kosteneinsparungen, die sich durch den Einsatz der Destillationsanlage ergeben, sind in Tabelle 4-3 dargestellt (Erläuterung und Herleitung der Kosten siehe Anhang).

Tab. 4-3: Gegenüberstellung der Kosten für den Lösemitteleinsatz bei der Geräte- und Spritzpistolenreinigung ohne und mit Destillationsanlage

Kosten	Ohne Destillationsanlage		Mit Destillationsanlage	
	spezifische Kosten	absolut (DM/a)	spezifische Kosten	absolut (DM/a)
Beschaffungskosten Lösemittel	2,06 DM/kg	16 100	2,06 DM/kg	3 900
Investitionsabhängige Kosten und Betriebskosten	–	–	–	14 100
Entsorgungskosten	1,18 DM/kg	7 300	3 000 DM/t	1 500
Summe	–	23 400	–	19 500
Einsparung	ca. 3 900 DM/a			

Gegenüber dem Zustand vor der Inbetriebnahme der Destillationsanlage ergibt sich eine jährliche Einsparung von ca. 3 900 DM, die im wesentlichen auf die geringeren Beschaffungs- und Entsorgungskosten zurückzuführen ist.

5 Konzepte zur weitergehenden Vermeidung, Verminderung und Verwertung von verunreinigten Lösemitteln

5.1 Anwendungsbereich Teilereinigung

5.1.1 Verminderung des Anfalls verunreinigter Lösemittel durch Umstellung des Reinigungsverfahrens

Durch den Einsatz eines A I-Lösemittels zur manuellen Reinigung in einer Vielzahl von kleinen, offenen Behältern bestanden im untersuchten Betrieb die folgenden Probleme:

- große Reststoffmengen und damit hohe Entsorgungskosten
- hoher Reinigungsaufwand (Zeit, Personal) bei nicht einheitlicher Reinigungsqualität
- hohe Lösemittelemissionen durch das leichtflüchtige Lösemittel, verbunden mit einer erhöhten Brandgefahr in der Produktionshalle

Nach Umsetzung der in Kapitel 4.1 beschriebenen Maßnahmen zur Vermeidung von verunreinigten Lösemitteln standen diese Probleme im Mittelpunkt der Überlegungen. Zu Beginn der vorliegenden Untersuchung hatte sich der Betrieb daher bereits für den Einsatz einer zentralen automatischen Reinigungsanlage entschieden.

Reinigungsanlage

Die automatische Reinigungsanlage besteht im wesentlichen aus den drei Komponenten Waschkammer, Trockenkammer und Elektroschaltschrank:

– Waschkammer

In der geschlossenen Waschkammer erfolgt die Reinigung der Teile durch Tauchen, Fluten und Spritzen. Beim Spritzen und Fluten wird das Lösemittel im Kreislauf geführt. Vor Entnahme der gereinigten Teile aus der Waschkammer werden sie über dem Reinigungsbad abgetropft, um die Verschleppung von Lösemittel aus der Waschkammer zu minimieren. Die Reinigung und das Abtropfen können durch Schwenken und Drehen der Teile mittels einer Dreheinrichtung unterstützt werden. Durch geeignete Kombination der verschiedenen Verfahrensschritte können z. B. starke Turbulenzen im Reinigungsmedium erzeugt werden, so daß auch Schüttgutteile komplett durchgespült und z. B. feine Späne aus Sacklochbohrungen entfernt werden.

Zur Abscheidung von Tröpfchen, die sich insbesondere beim Abspritzen von Teilen in der Waschkammer bilden, ist ein Tropfenabscheider auf der Waschkammer angebracht. Zur Entfernung von Feststoffen aus dem Lösemittel (die mit den zu reinigenden Teilen eingetragen werden) erfolgt kontinuierlich eine Filtration der im Waschkreislauf gepumpten Lösemittelmengen.

– Trockenkammer

Aus der Waschkammer werden die Teile direkt in die Trockenkammer transportiert. Hier wird das anhaftende Lösemittel mit Hilfe von Heißluft verdampft, die in einem

elektrischen Heizregister auf bis zu 100 °C erwärmt werden kann. Die Trocknungsluft wird bis zum Erreichen einer vorgegebenen Lösemittelkonzentration im Umluftbetrieb gefahren, bei Überschreitung wird automatisch auf Frischluftbetrieb umgeschaltet. Die lösemittelbeladene Abluft wird ohne weitere Behandlung über Dach abgeführt.

– Elektroschaltschrank

Mit der speicherprogrammierbaren Steuerung können die einzelnen Verfahrensschritte bei der Reinigung (Tauchen, Spritzen, Fluten, Drehen/Schwenken, Abtropfen, Trocknen) frei gewählt werden. Über ein Schalttableau können die Verfahrenskombinationen und die jeweils gewünschten Zeiten als komplettes Reinigungsprogramm abgespeichert und vom Maschinenbediener auf Knopfdruck abgerufen werden.

Die Reinigungsanlage weist die in Tabelle 5-1 dargestellten technischen Daten auf.

Tab. 5-1: Technische Daten der automatischen Reinigungsanlage

Füllvolumen	max. 600 l Reinigungsmittel
Abmaße	Länge: 3,75 m, Breite: 2,1 m, Höhe: 2,20 m
Heizleistung, Stromaufnahme	30 kW, 3 kW
Personalbedarf	bei Dauerbetrieb ständig 1 Anlernkraft
Schutzart	Eex oder II B-T2

Reinigungsablauf

Der Maschinenbediener legt zunächst die zu reinigenden Teile in einen Gitterkorb und beschickt damit über eine Schiebetür die Waschkammer. Dann wählt er am Schalttableau das vorprogrammierte Reinigungsprogramm. Je nach Oberflächenempfindlichkeit der zu reinigenden Teile unterscheiden sich die Reinigungsprogramme im vorgegebenen Schwenkwinkel bzw. in der Drehung der Gitterkörbe. So werden z. B. Teile mit sehr empfindlichen Oberflächen nur getaucht (diese Teile sind zusätzlich im Gitterkorb fixiert).

Auf eine weitere Differenzierung der Waschprogramme hinsichtlich des erforderlichen Reinheitsgrads (vgl. Tab. 2-3) wurde bislang aus betrieblichen Gründen verzichtet, daher orientieren sich die einprogrammierten Parameter an den höchsten Reinheitsanforderungen.

Nach dem Abtropfen der Teile entlädt der Maschinenbediener die Waschkammer und schiebt den Gitterkorb in die neben der Waschkammer liegende Trockenkammer. Während der Trocknungsphase wird die Waschkammer bereits mit dem nächsten Gitterkorb beschickt. Der Gitterkorb mit den getrockneten Teilen wird aus der Trockenkammer entnommen und zur Abkühlung neben der Reinigungsanlage abgestellt.

Eingesetztes Reinigungsmittel

Die Teilereinigung erfolgt mit einem aromatenfreien halogenfreien Kohlenwasserstoffgemisch, das die in Tabelle 5-2 dargestellten Eigenschaften aufweist. Das Reinigungsmittel ist in der Lage, bis zu 30 % Ölanteil aufzunehmen.

Tab. 5-2: Angaben zum Teilereinigungslösemittel für die automatische Reinigungsanlage

Gefahrenklasse nach VbF	A III
Siedegrenzen (°C)	179–191
Dichte (kg/l)	0,766
Verdunstungszahl (Ether = 1)	75
Einkaufspreis	5,26 DM/kg (inkl. Rücknahme)

Nach den bisherigen Erfahrungen ist ein Betrieb der Reinigungsanlage mit einer Füllung an frischem Lösemittel (ca. 600 l) über ca. sechs Wochen möglich. Nach diesem Zeitraum hat sich das Füllvolumen durch Ausschleppung von an den Teilen haftendem Lösemittel auf ca. 300 l reduziert. Gleichzeitig hat das Lösemittel einen Ölanteil von 30 % erreicht, so daß zu diesem Zeitpunkt ein Austausch des gesamten verunreinigten Lösemittels durchgeführt wird. Insgesamt errechnet sich hieraus ein jährlicher Reststoffanfall von ca. 2 400 l (ca. 1,8 t/a) mit einem Ölgehalt von ca. 720 l (0,54 t).

Verwertung des verunreinigten Teilereinigungslösemittels durch externe Aufarbeitung

Das verunreinigte Teilereinigungslösemittel aus der neuen Reinigungsanlage wird laut Herstellerangaben aufgearbeitet. Voraussetzung zur Aufarbeitung ist jedoch die Getrennthaltung von anderen Reststoffen. Im vorliegenden Fall mußten dazu getrennte Behälter für die früher zusammen gelagerten Reststoffe Schneidöl und Teilereinigungslösemittel aufgestellt werden. Durch organisatorische Maßnahmen (Sammelbehälter ist abgeschlossen, nur ein Entsorgungsbeauftragter hat den Schlüssel und die Zugangsberechtigung) wurde sichergestellt, daß keine Vermischung mit anderen Flüssigkeiten durch unsachgemäßes Befüllen möglich ist.

Die Kosten für die Rücknahme sind bereits im Einkaufspreis des Reinigungsmittels enthalten.

Das verunreinigte Lösemittel wird zusammen mit anderen Lösemitteln des gleichen Herstellers aufbereitet. Das Regenerat kann nach Herstellerangaben allerdings nicht mehr zum gleichen Einsatzzweck verwendet werden, da es eine rückfettende Wirkung hat und daher nicht der Qualität von Neuware entspricht.

Verminderungspotential

Durch die Umstellung von offenen Gefäßen auf eine geschlossene Waschkammer konnte neben einer Reduzierung des Reststoffanfalls eine erhebliche Minderung der Emissionen erreicht werden. Allerdings gelangen die in der Trockenkammer verdunsteten Lösemittel, wie oben beschrieben, weiterhin mit der erwärmten Abluft nach draußen, was zu Emissionen in der Größenordnung von 2,4 t/a führt. Aufgrund der sich verschärfenden Anforderungen an die Emissionsminderung (u. a. durch die geplante VOC-Verordnung der EG, vgl. Teil A) könnten zukünftig Maßnahmen zur Abgasreinigung erforderlich werden; dieser Aspekt konnte jedoch im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht detailliert behandelt werden.

Die einzusparenden Lösemittelmengen sind in Tabelle 5-3 dargestellt.

Tab. 5-3: Verminderungspotential durch Einsatz der automatischen Reinigungsanlage

Menge	Manuelle Teilereinigung (t/a)	Automatische Teilereinigung (t/a)	Veränderung in %
Zugekaufte Menge Lösemittel	14,5	3,7	–75
Entsorgte Menge Reststoffe	6,0[1]	1,8	–70
Emissionen	9	2,4	–73

[1] ohne Berücksichtigung des Schneidölanteils

Eine schematische Darstellung der Stoffströme zeigt Abb. 5-1.

Kostenbetrachtung

Durch die Einführung der automatischen Teilereinigung ergibt sich eine Kostenersparnis von ca. 64 000 DM/a. Wesentliche Ursache hierfür sind die erheblich reduzierten Personalkosten durch die Automatisierung: Während vor der Einführung der Reinigungsanlage ein Mitarbeiter ausschließlich mit der manuellen Teilereinigung beschäftigt war, ist jetzt nur ein Bedienungsaufwand von ca. 2,5 Stunden pro Tag erforderlich.

Die Kosten für Einkauf und Verwertung des Lösemittels haben sich jährlich um ca. 14 500 DM reduziert.

In Tabelle 5-4 sind die durchschnittlichen jährlichen Kosten bei manueller und bei automatischer Teilereinigung gegenübergestellt (Erläuterung und Herleitung der Kosten siehe Anhang).

Tab. 5-4: Gegenüberstellung der Kosten bei manueller und automatischer Teilereinigung

Kosten	Manuelle Teilereinigung		Automatische Teilereinigung	
	spezifische Kosten	absolut (DM/a)	spezifische Kosten	absolut (DM/a)
Beschaffungskosten Lösemittel	1,80 DM/kg	26 100	5,26 DM/kg	19 500
Investitionsabhängige Kosten und Betriebskosten	–	108 000	–	58 900
Entsorgungs-/ Aufarbeitungskosten	1,32 DM/kg	7 900[1]	in Beschaffungskosten enthalten	–
Summe	–	142 000	–	78 400
Einsparung	ca. 64 000 DM/a			

[1] bezogen auf 6 t verunreinigtes Lösemittel

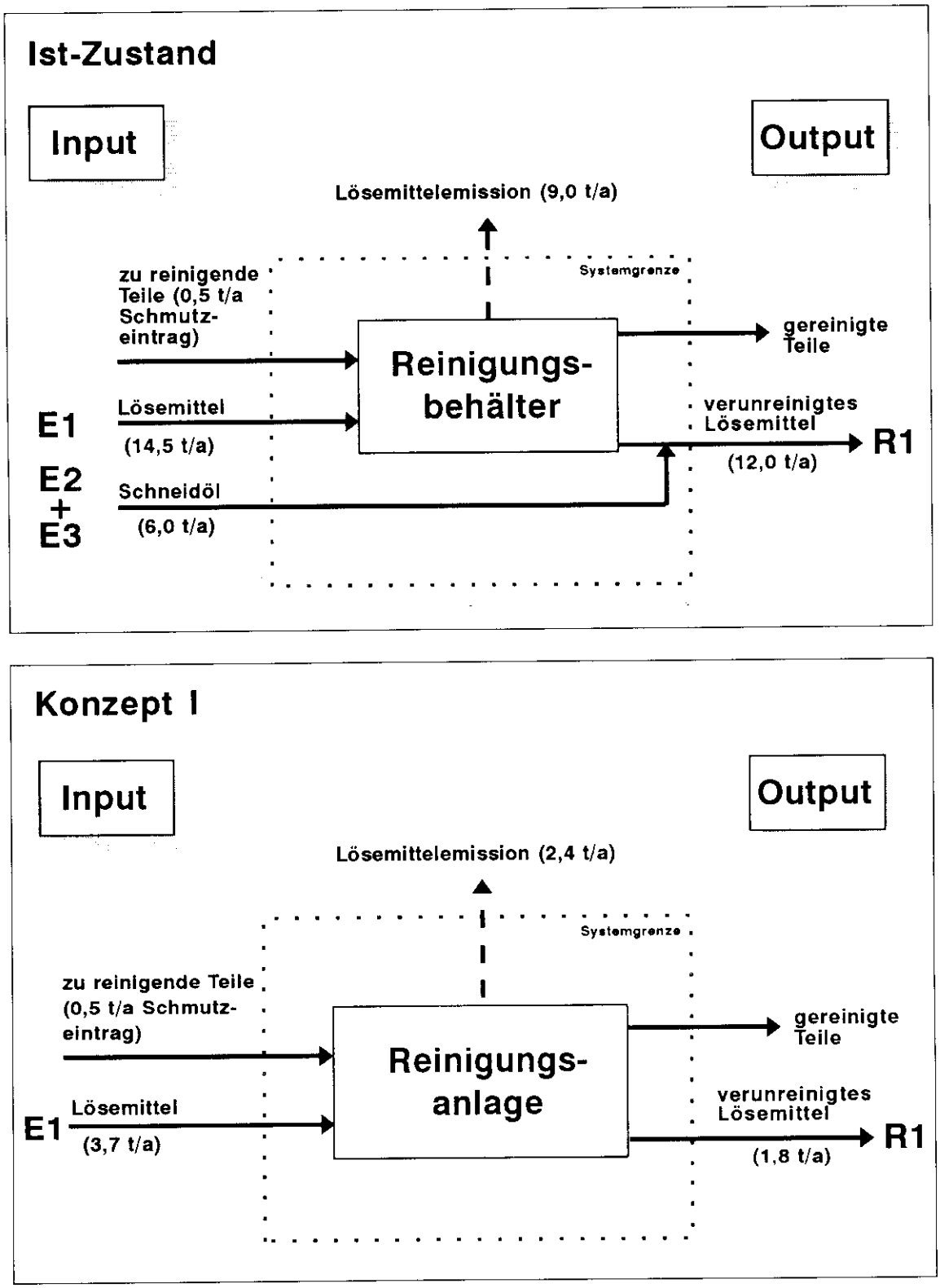


Abb. 5-1: Einsparung an Teilereinigungslösemittel durch den Einsatz einer automatischen Reinigungsanlage

5.1.2 Verwertung des verunreinigten Teilereinigungslösemittels durch interne Destillation

Bei der augenblicklich vorgesehenen Entsorgung des Lösemittels über den Lieferanten findet zwar eine Verwertung statt, das Lösemittel kann jedoch nicht mehr im ursprünglichen Anwendungsbereich eingesetzt werden. Diese Möglichkeit besteht bei einer innerbetrieblichen Destillation, sofern sich das eingesetzte Lösemittel für eine destillative Aufarbeitung eignet.

Im vorliegenden Fall ist das verwendete Teilereinigungslösemittel laut Herstellerangaben destillierbar. Da es sich allerdings um ein hochsiedendes Kohlenwasserstoffgemisch aus Isoparaffinen handelt, muß die technisch aufwendigere Vakuumdestillation eingesetzt werden.

Dabei ist nicht auszuschließen, daß das erhaltene Rezyklat einen leichten Rückfettungseffekt besitzt. Dies muß jedoch den Wiedereinsatz nicht unbedingt verhindern, da sich auch jetzt nach einer gewissen Betriebszeit ein leichter Rückfettungseffekt im Lösemittel einstellt. In jedem Fall sollte diese Frage vor Anschaffung einer Destillationsanlage durch Probedestillationen und Reinigungsversuche mit dem Destillat überprüft werden. Für die folgenden Betrachtungen wird davon ausgegangen, daß eine Verwendung des Rezyklats möglich ist.

Die für die nachfolgende Kostenbetrachtung zugrunde gelegte Destillationsanlage weist die in Tabelle 5-5 dargestellten technischen Daten auf.

Tab. 5-5: Technische Daten der Destillationsanlage zur Aufbereitung des Teilereinigungslösemittels

Fassungsvermögen Vakuumkessel	50 l
Regeltemperatur	maximal 200 °C
Stromaufnahme	4,5 kW
Destillationsleistung	10 l/h
Personalbedarf	0,5 h/Tag (Anlernkraft)
Schutzklasse	Eex oder II B-T3

Verminderungspotential

Das gebrauchte Lösemittel enthält als Verunreinigung im wesentlichen Öl. Bei einer Destillation dürfte eine weitgehende Rückgewinnung des Lösemittelanteils möglich sein. Für die folgenden Betrachtungen wird daher vereinfachend angenommen, daß durch die destillative Aufbereitung 100 % des enthaltenen Lösemittels zurückgewonnen werden. Damit reduziert sich die einzukaufende Lösemittelmenge gegenüber dem Ist-Zustand ohne Reinigungsanlage um ca. 12,1 t (von 14,5 auf 2,4 t/a). Als Abfall würden nur noch ca. 0,5 t/a ölhaltiger Destillationsrückstand anfallen, der als Sonderabfall entsorgt werden muß.

Die Mengenreduzierungen sind im einzelnen in Tabelle 5-6 und Abbildung 5-2 dargestellt.

Tab. 5-6: Verminderungspotential durch Einsatz der automatischen Reinigungsanlage mit betriebsinterner Destillation

Menge	Manuelle Teilereinigung (t/a)	Automatische Teilereinigung mit betriebsinterner Destillation (t/a)	Veränderung in %
Zugekaufte Menge Lösemittel	14,5	2,4	–83
Entsorgte Menge Reststoffe	6,0[1]	0,5	–92
Emissionen	9,0	2,4	–73

[1] ohne Berücksichtigung des Schneidölanteils

Kostenbetrachtung

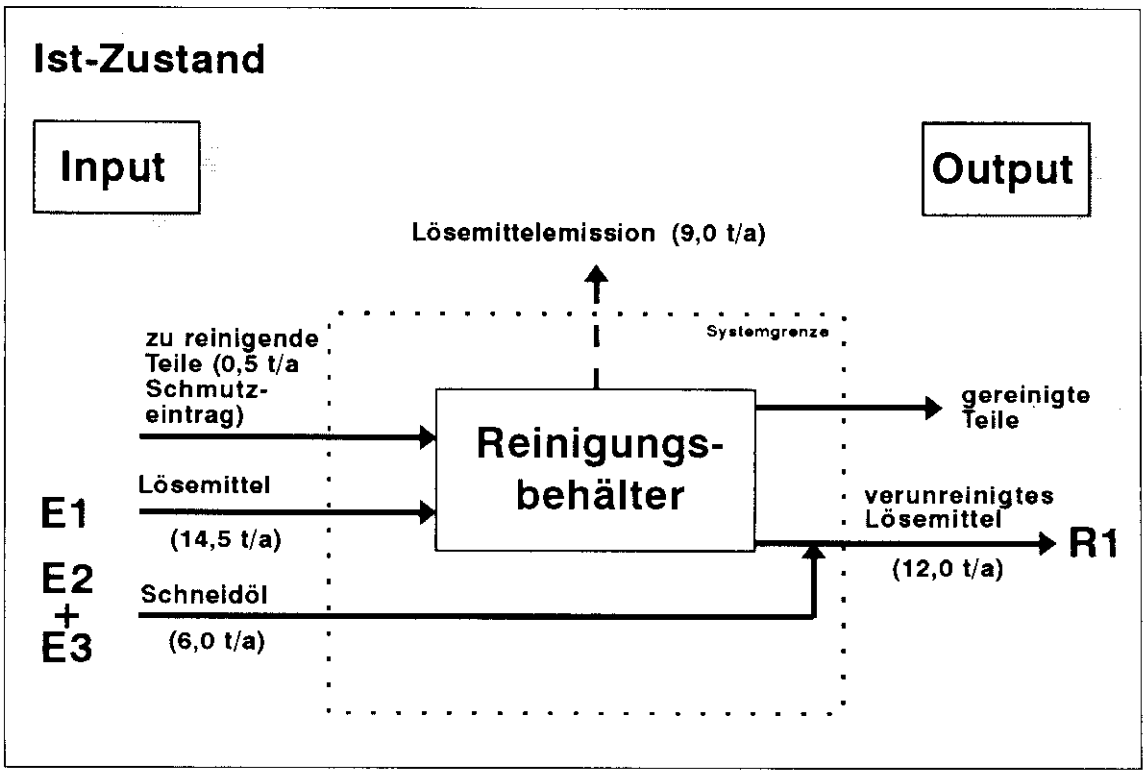
In Tabelle 5-7 sind die durchschnittlichen jährlichen Kosten für den Lösemitteleinsatz in offenen Reinigungsbehältern und für den Lösemitteleinsatz in der automatischen Reinigungsanlage mit anschließender betriebsinterner Destillation des Lösemittels gegenübergestellt.

Tab. 5-7: Gegenüberstellung der Kosten für den Lösemitteleinsatz in offenen Reinigungsbehältern und in der automatischen Teilereinigungsanlage mit betriebsinterner Destillation des Lösemittels

Kosten	Manuelle Teilereinigung		Automatische Teilereinigung mit betriebsinterner Destillation des Lösemittels	
	spezifische Kosten	absolut (DM/a)	spezifische Kosten	absolut (DM/a)
Beschaffungskosten Lösemittel	1,80 DM/kg	26 100	4,86 DM/kg[1]	11 700
Investitionsabhängige Kosten und Betriebskosten	–	108 000	Destillationsanlage Reinigungsanlage	10 300 58 900
	–	–	Summe	69 200
Entsorgungskosten	1,32 DM/kg	7 900[2]	Destillationsrückstand: 1,50 DM/kg[3]	750
Summe	–	142 000	–	81 650
Einsparung	ca. 60 000 DM/a			

[1] Beim Kauf des Lösemittels ohne Rücknahme reduzieren sich die Beschaffungskosten laut Händlerangaben um ca. 0,40 DM/kg.
[2] bezogen auf 6 t verunreinigtes Lösemittel
[3] In diesem Betrag ist eine Abfallabgabe in Höhe von 200 DM/t (Stand 1993) enthalten.

Damit ergibt sich bei diesem Konzept der automatischen Teilereinigung mit anschließender Destillation des verunreinigten Lösemittels im Betrieb eine jährliche Kosteneinsparung von ca. 60 000 DM (ca. 42 %) gegenüber der Teilereinigung in offenen Behältern.



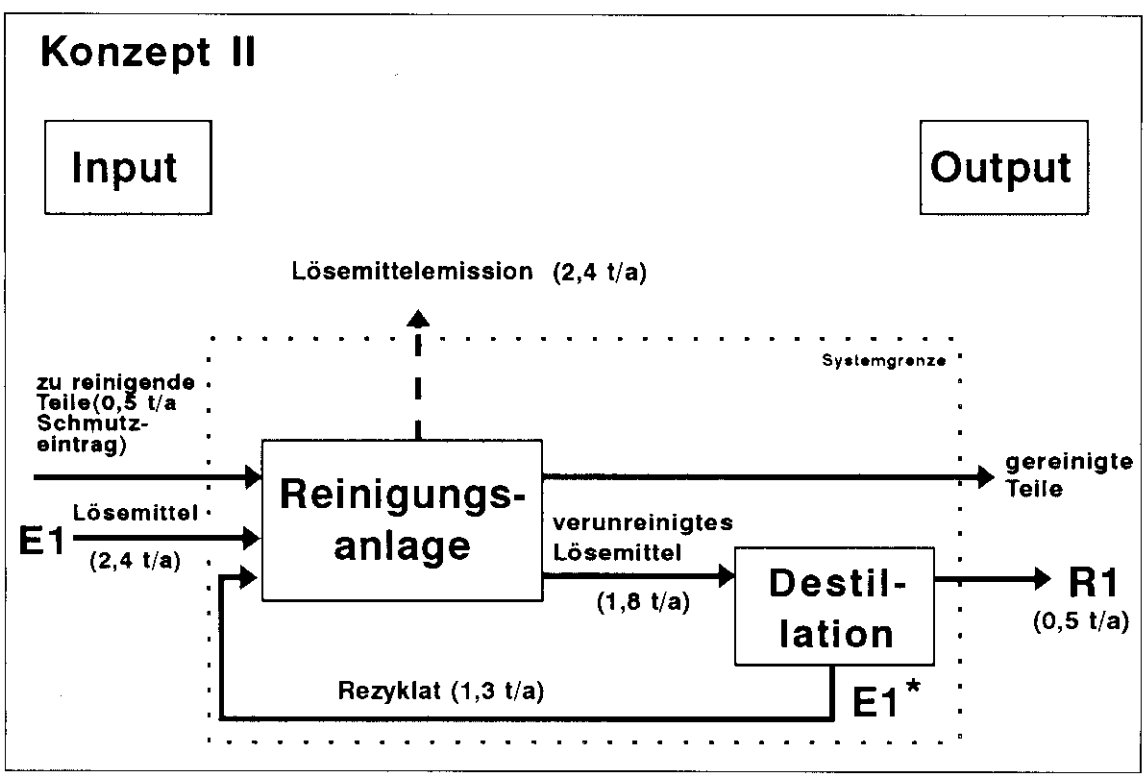


Abb. 5-2: Einsparung an Teilereinigungslösemittel durch den Einsatz einer Destillationsanlage

5.1.3 Verwertung des verunreinigten Teilereinigungslösemittels durch Lohndestillation

Das Ziel einer Schließung von Stoffkreisläufen, d. h. der Wiederverwendung des Lösemittels im selben Anwendungsbereich, kann auch durch externe Lohndestillation erreicht werden. In diesem Fall gibt das Verwertungsunternehmen das Regenerat direkt an den Kunden zurück.

Mögliche Probleme beim Einsatz des Regenerats aufgrund eines Rückfettungseffekts (vgl. Kap. 5.1.2) können vorab durch eine Probedestillation beim Lohndestillateur geklärt werden.

Voraussetzung für die Annahme des verunreinigten Lösemittels durch einen Lohndestillateur ist eine Mindestreststoffmenge von 1 000 l (5 Fässer à 200 l). Im Betrieb muß daher eine Lagermöglichkeit für die entsprechende Menge Reststoff bis zur Abholung geschaffen werden.

Verminderungspotential

Das Verminderungspotential für die Einsatzmenge wird genauso hoch wie bei der betriebsinternen Destillation (vgl. Kap. 5.1.2) angesetzt. Die zu entsorgenden Reststoffmengen reduzieren sich damit ebenfalls auf 0,5 t/a, die beim Lohndestillateur anfallen.

Kostenbetrachtung

In Tabelle 5-8 sind die durchschnittlichen jährlichen Kosten für den Lösemitteleinsatz in offenen Reinigungsbehältern und für den Lösemitteleinsatz in der automatischen Reinigungsanlage mit anschließender Lohndestillation des Lösemittels gegenübergestellt (zur Herleitung der Aufarbeitungskosten bei der Lohndestillation siehe Anhang). Für dieses Konzept ergibt sich eine jährliche Kosteneinsparung von ca. 69 000 DM (ca. 49 %) gegenüber der Teilereinigung in offenen Behältern.

Tab. 5-8: Gegenüberstellung der Kosten für den Lösemitteleinsatz in offenen Reinigungsbehältern und in der automatischen Teilereinigungsanlage mit Lohndestillation des Lösemittels

Kosten	Manuelle Teilereinigung		Automatische Teilereinigung mit Lohndestillation des Lösemittels	
	spezifische Kosten	absolut (DM/a)	spezifische Kosten	absolut (DM/a)
Beschaffungskosten Lösemittel	1,80 DM/kg	26 100	4,86 DM/kg[1)]	11 700
Investitionsabhängige Kosten und Betriebskosten	–	108 000	Reinigungsanlage	58 900
Entsorgungs-/ Aufarbeitungskosten	1,32 DM/kg	7 900[2)]	1,50 DM/kg	2 700
Summe	–	142 000	–	73 300
Einsparung	ca. 69 000 DM/a			

[1)] Beim Kauf des Lösemittels ohne Rücknahme reduzieren sich die Beschaffungskosten laut Händlerangaben um ca. 0,40 DM/kg.
[2)] bezogen auf 6 t verunreinigtes Lösemittel

5.1.4 Gegenüberstellung der Wirtschaftlichkeit von interner Destillation, Lohndestillation und externer Aufbereitung

Wie in den Kapiteln 5.1.1 bis 5.1.3 dargestellt wurde, ergeben sich für die einzelnen Konzeptalternativen unterschiedliche Einsparungen gegenüber der manuellen Teilereinigung. Da die Kosten für die automatische Teilereinigungsanlage in allen betrachteten Varianten in gleicher Höhe anfallen, sind die Kostenunterschiede auf die unterschiedlichen Verwertungsalternativen zurückzuführen. In Tabelle 5-9 sind zum Vergleich die durchschnittlichen jährlichen Kosten für den Lösemitteleinsatz bei betriebsinterner Destillation, Lohndestillation und externer Aufarbeitung gegenübergestellt.

Tab. 5-9: Gegenüberstellung der Kosten für den Lösemitteleinsatz in der automatischen Teilereinigungsanlage bei betriebsinterner Destillation, Lohndestillation und externer Aufarbeitung

Kosten	Externe Aufarbeitung durch Lösemittellieferanten		Betriebsinterne Destillation		Lohndestillation	
	spezifische Kosten	absolut (DM/a)	spezifische Kosten	absolut (DM/a)	spezifische Kosten	absolut (DM/a)
Beschaffungskosten Lösemittel	5,26 DM/kg	19 500	4,86 DM/kg[1]	11 700	4,86 DM/kg	11 700
Investitionsabhängige Kosten und Betriebskosten für Destillationsanlage	–	–	–	10 300	–	–
Entsorgungs-/ Aufarbeitungskosten	in Beschaffungskosten enthalten	–	Destillationsrückstand: 1,50 DM/kg[2]	750	1,50 DM/kg	2 700
Summe	–	19 500	–	22 750	–	14 400

[1] Beim Kauf des Lösemittels ohne Rücknahme reduzieren sich die Beschaffungskosten laut Händlerangaben um ca. 0,40 DM/kg.
[2] In diesem Betrag ist eine Abfallabgabe in Höhe von 200 DM/t (Stand 1993) enthalten.

Die Verwertung des Lösemittels über Lohndestillation und anschließenden Wiedereinsatz im selben Anwendungsbereich stellt mit jährlich ca. 14 400 DM Kosten für die Beschaffung und Aufarbeitung des Lösemittels die wirtschaftlich günstigste Verwertungsalternative dar.

5.2 Anwendungsbereich Geräte- und Spritzpistolenreinigung

Wie unter Kapitel 4.2 dargestellt, sind bei der Geräte- und Spritzpistolenreinigung schon wesentliche reststoffminimierende Maßnahmen erfolgreich durchgeführt worden. Weitere Vermeidungs- und Verwertungsmöglichkeiten für Lösemittel bestehen derzeit nicht.

6 Zusammenfassung der Möglichkeiten zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von Reststoffen

Im untersuchten Betrieb werden zwei halogenfreie Lösemittel eingesetzt: ein Teilereinigungslösemittel in der Produktion und ein Gerätereinigungslösemittel zur Reinigung von Spritzpistolen und Geräten in Qualitätskontrolle, Entwicklung und Schulung. Das Gerätereinigungslösemittel wird in einer betriebsinternen Destillationsanlage aufgearbeitet. Dadurch werden aus der ursprünglichen Menge ca. 90 % Rezyklat zurückgewonnen und wiederverwendet.

Im Bereich der Teilereinigung hat sich der untersuchte Betrieb aufgrund der dort bestehenden Probleme mit der manuellen Reinigung (große Abfallmengen, hoher Reinigungsaufwand, hohe Lösemittelemissionen durch das leichtflüchtige Reinigungsmittel) bereits zu Beginn der Untersuchungen für den Einsatz einer zentralen automatischen Teile-Reinigungsanlage entschieden. Durch diese Umstellung wird eine Reduktion des Reststoffanfalls um 70 % und der Emissionen um 73 % erzielt.

Das aus der Teile-Reinigungsanlage anfallende gebrauchte Lösemittel wird an den Lieferanten zurückgegeben und von diesem zur Verwertung an den Hersteller weitergegeben. Allerdings wird vom Hersteller bei der gemeinsamen Aufarbeitung mit anderen Lösemitteln nur ein minderwertiges Regenerat erzeugt, das nicht mehr zum gleichen Einsatzzweck verwendet werden kann.

Als alternative Verwertungsmöglichkeiten für das Teilereinigungslösemittel wurden die betriebsinterne Destillation sowie die Aufarbeitung durch einen externen Lohndestillateur untersucht. In beiden Fällen kann das aufgearbeitete Lösemittel wieder in der Reinigungsanlage eingesetzt und somit der Stoffkreislauf geschlossen werden. Die Untersuchung zeigte, daß die wirtschaftlich günstigste Alternative die externe Aufarbeitung bei einem Lohndestillateur ist. Gegenüber der jetzigen Rückgabe an den Lieferanten können dadurch ca. 5 000 DM/a eingespart werden.

Betrieb 3: Mittelständischer Hersteller von elektrotechnischen Zulieferteilen und Systemkomponenten/Einsatz von CKW in zentraler Reinigungsanlage

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	**Allgemeine Angaben zum untersuchten Betrieb**	123
2	**Lösemittelspezifische Angaben zum untersuchten Betrieb**	124
2.1	Untersuchte Anfallstelle für verunreinigte Lösemittel	124
2.2	Beschreibung der Reinigungsaufgabe	124
2.3	Derzeit durchgeführtes Reinigungsverfahren	126
3	**Bilanzierung der Stoffströme**	129
4	**Bereits durchgeführte Maßnahmen zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von verunreinigten Lösemitteln**	130
4.1	Vermeidung von verunreinigten Lösemitteln	130
4.2	Verminderung von verunreinigten Lösemitteln	130
4.3	Untersuchungen zur Umstellung der Teilereinigung	130
5	**Konzepte zur weitergehenden Vermeidung, Verminderung und Verwertung von verunreinigten Lösemitteln**	132
5.1	Einsatz einer CKW-Reinigungsanlage nach dem Stand der Technik	132
5.2	Verminderung des Destillationssumpfes	138
5.2.1	Nachgeschaltete betriebsinterne Vakuumdestillation des Destillationssumpfes	138
5.2.2	Nachgeschaltete betriebsinterne Lösemittelabtrennung	142
5.2.3	Gegenüberstellung der Kosten für externe Verwertung, interne Vakuumdestillation und interne Lösemittelabtrennung	145
6	**Zusammenfassung**	146

Tabellenverzeichnis

Seite

Tab. 2-1: Typische Beispiele für verschmutzungsrelevante Verfahrensschritte vor der Reinigung 125
Tab. 2-2: Erforderliche Reinheitsgrade aufgrund nachfolgender Verfahrensschritte bei der Teilereinigung 125
Tab. 2-3: Angaben zum Teilereinigungslösemittel 126
Tab. 2-4: Technische Daten der automatischen Reinigungsanlage 127
Tab. 3-1: Art und Menge der Einsatz- und Reststoffe bei der Teilereinigung (Angaben für 1992) 129
Tab. 4-1: Untersuchte Varianten zur Umstellung der Teilereinigung 131
Tab. 5-1: Technische Daten der automatischen Reinigungsanlage mit integrierter Destillation 133
Tab. 5-2: Angaben zum Teilereinigungslösemittel für die automatische Reinigungsanlage 134
Tab. 5-3: Abschätzung der zukünftigen Beschaffungs- und Rückgabekosten für Lösemittel 137
Tab. 5-4: Technische Daten der Vakuum-Destillationsanlage zur Rückgewinnung von Lösemittel aus dem Destillationssumpf 138
Tab. 5-5: Verminderungspotential durch zusätzliche Vakuumdestillation 139
Tab. 5-6: Gegenüberstellung der Kosten für den Lösemitteleinsatz ohne und mit zusätzlicher Vakuum-Destillationsanlage 141
Tab. 5-7: Technische Daten einer Anlage zur Lösemittelabtrennung aus dem Destillationssumpf 142
Tab. 5-8: Gegenüberstellung der Kosten für den Lösemitteleinsatz ohne und mit einer zusätzlichen Anlage zur Lösemittelabtrennung 144
Tab. 5-9: Gegenüberstellung der Kosten für externe Verwertung, interne Vakuumdestillation und interne Lösemittelabtrennung 145

Abbildungsverzeichnis

Seite

Abb. 3-1: Bilanzierung der Stoffströme bei der Teilereinigung 129
Abb. 5-1: Lösemittelbilanz bei Einsatz einer CKW-Reinigungsanlage nach dem Stand der Technik 136
Abb. 5-2: Bilanzierung der Stoffströme bei Einsatz einer CKW-Reinigungsanlage nach dem Stand der Technik ohne und mit zusätzlicher Vakuumdestillation 140
Abb. 5-3: Bilanzierung der Stoffströme bei Einsatz einer CKW-Reinigungsanlage nach dem Stand der Technik ohne und mit zusätzlicher Anlage zur Lösemittelabtrennung 143

1 Allgemeine Angaben zum untersuchten Betrieb

Bei dem untersuchten Betrieb handelt es sich um ein mittelständisches Unternehmen der elektrotechnischen Investitionsgüterindustrie, das Zulieferteile und Systemkomponenten herstellt. Es werden elektrische Antriebe bis 100 Watt und Präzisionsmeßgeräte produziert, die in verschiedenen Branchen (z. B. Druckindustrie, Maschinenbau und im Bereich der Umwelt-, Klima-, Wasser- und Heizungstechnik) vielfältige Verwendung finden. Die benötigten Metall- und Kunststoffteile werden mit einer großen Fertigungstiefe hergestellt. Von den zur Zeit 460 Beschäftigten arbeiten 370 Personen in der Produktion.

Der Produktionsbetrieb ist in die beiden großen Bereiche Fertigung und Montage unterteilt. Die Fertigung mit insgesamt 115 Mitarbeitern ist in die Abteilungen für Stanzen, Fräsen, Drehen, Schleifen, Bohren und Kunststoffspritzen untergliedert. Dem Produktionsbetrieb angeschlossen sind die Qualitätskontrolle und der Kundenservice.

2 Lösemittelspezifische Angaben zum untersuchten Betrieb

2.1 Untersuchte Anfallstelle für verunreinigte Lösemittel

Im Rahmen der Studie wurde die zentrale Reinigungsanlage des Betriebs untersucht. Diese ist dem Bereich Fertigung zugeordnet und wird bei der Oberflächenreinigung von Teilen eingesetzt, die im Betrieb hergestellt bzw. bearbeitet werden oder die von kleineren Zulieferbetrieben bezogen werden. An der Reinigungsanlage arbeitet ein angelernter Maschinenbediener, die Verantwortung für den Betrieb und die Wartung der Anlage liegt beim Meister der Dreherei und Schleiferei.

Bei dem anfallenden verunreinigten Lösemittel handelt es sich um einen chlorierten Kohlenwasserstoff (Dichlormethan). 1992 wurde eine Reststoffmenge von 400 l (ca. 0,45 t) unter der Schlüsselnummer 55206 an den Lösemittellieferanten abgegeben.

Daneben werden auch in der Montage Lösemittel in kleinen Mengen zur Nachreinigung von Klebeflächen eingesetzt. Dort entstehen jedoch nur sehr geringe Reststoffmengen, die im folgenden nicht betrachtet werden.

Die Fertigung ist in einer zweistöckigen Halle mit einer Gesamtfläche von 3 500 m^2 untergebracht. Die Reinigungsanlage befindet sich gemeinsam mit der Dreherei im oberen Geschoß der Halle und ist in einem separaten Raum (mit einer Grundfläche von ca. 8×6 m) untergebracht. Die Be- und Entlüftung dieses Raums erfolgt im Sommer über geöffnete Fenster und im Winter über ein Abluftgebläse. Die Reinigungsanlage ist zentral angeordnet, in unmittelbarer Nähe zum Aufzug und zwischen zwei Abteilungen der Dreherei.

2.2 Beschreibung der Reinigungsaufgabe

Im Werk werden ca. 40 000 verschiedene Einzelteile gefertigt. Das Größenspektrum dieser Teile liegt zwischen 5 mm und 120 mm. Die Losgrößen für einzelne Aufträge liegen im Bereich zwischen 10 und 100 000 Stück. Die bearbeiteten Teile weisen zum Teil eine komplizierte Geometrie auf (z. B. enge Sacklöcher), häufig handelt es sich auch um schöpfende Teile (z. B. tiefgezogene Gehäusebleche).

90 % aller zu reinigenden Teile bestehen aus Metall; daneben werden auch Kunststoffteile gereinigt. Bei den metallischen Werkstoffen handelt es sich überwiegend (ca. 80 %) um Teile aus Stahlblechen. Die meisten der zu reinigenden Teile stammen aus eigener Produktion. Ein Anteil von ca. 5 % der Teile (z. B. tiefgezogene Aluminiumteile) wird von kleinen Zulieferbetrieben hergestellt. Diese Teile werden ebenfalls in der zentralen Reinigungsanlage behandelt, da die Kleinbetriebe nicht über entsprechende Einrichtungen verfügen.

Während des Bearbeitungsprozesses durchlaufen viele der Teile mehrmals die im folgenden näher beschriebene Reinigungsanlage. Die Anzahl der Zwischenreinigungsschritte ist unterschiedlich und hängt von Art und Ablauf der Fertigung ab.

Tabelle 2-1 enthält drei typische Beispiele für Teilearten mit unterschiedlichem Fertigungsaufwand.

Tab. 2-1: Typische Beispiele für verschmutzungsrelevante Verfahrensschritte vor der Reinigung

Teileart	Beispiel	Verfahrensschritte vor der Reinigung	Verunreinigung
Teile mit geringem Fertigungsaufwand	Distanzbuchse aus Messing	Plandrehen, Bohren, Abstechen	Schneidöle, Späne
Teile mit mittlerem Fertigungsaufwand	Gehäuseschale aus Stahlblech	Ziehen, Stanzen, Bohren, Zwischenlagern	Ziehfett, Späne, Konservierungsmittel
Teile mit hohem Fertigungsaufwand	Flansch aus Aluminium	Absägen, Drehen, Bohren, Gewindeschneiden, Zwischenlagern	Emulsionen, Schneidöle, Späne, Konservierungsmittel

Grundsätzlich lassen sich bei der Teilereinigung aufgrund der Anforderungen der nachfolgenden Verfahrensschritte die in Tabelle 2-2 aufgeführten Reinheitsgrade unterscheiden.

Tab. 2-2: Erforderliche Reinheitsgrade aufgrund nachfolgender Verfahrensschritte bei der Teilereinigung

Verfahrensschritte nach der Reinigung	Erforderlicher Reinheitsgrad	Zu reinigende Teilezahl
Mechanische Weiterbearbeitung	gering: Die Teile müssen lediglich spanfrei sein, um eine exakte Positionierung in den Bearbeitungsmaschinen zu ermöglichen.	keine Angaben möglich, da die Anzahl der Teile, die mehrfach Zwischenreinigungen unterzogen werden, nicht bekannt ist. Insgesamt werden ca. 1 t Teile pro Tag gereinigt.
Galvanisieren, Lackieren, Verkleben	hoch: Eine vollständige Spanfreiheit und Entfettung ist unbedingt erforderlich.	

2.3 Derzeit durchgeführtes Reinigungsverfahren

Eingesetztes Reinigungsmittel

Zur Teilereinigung wird Dichlormethan (Methylenchlorid) eingesetzt. Die Eigenschaften dieses Lösemittels sind in Tabelle 2-3 aufgeführt.

Tab. 2-3: Angaben zum Teilereinigungslösemittel

Gefahrenklasse nach VbF	–
Siedepunkt (°C)	40
Dichte (kg/l)	1,323–1,327
Verdunstungszahl (Ether = 1)	1,8
Einkaufspreis	1,92 DM/kg

Es handelt sich um sonderstabilisiertes Methylenchlorid, das für die Reinigung von Aluminium geeignet ist. Der eingesetzte Stabilisator entspricht insbesondere hinsichtlich der Toxizität den gesetzlichen Anforderungen.

Reinigungsanlage

Die Reinigung erfolgt in einer ca. zwölf Jahre alten automatischen Tauchreinigungsanlage. Die Anlage besteht im wesentlichen aus der Reinigungskammer, der Destillationsanlage und der Anlagensteuerung, die im folgenden beschrieben werden.

Der Einsatz der vorhandenen Reinigungsanlage ist nur noch bis Ende 1994 erlaubt, da die ab 1.1.1995 geltenden Vorgaben der 2. BImSchV nicht erfüllt werden können.

– Reinigungskammer

Die Reinigungskammer besteht aus zwei Zonen, die nicht hermetisch voneinander getrennt sind. In der ersten Zone erfolgt die Beschickung bzw. Entladung der Reinigungsanlage. In der zweiten Zone befinden sich zwei Becken, in denen die Reinigung der Teile durch Tauchen in Lösemittel erfolgt. Die Reinigung kann durch Schwenken und Drehen der Teile mittels einer Dreheinrichtung unterstützt werden. Zur Verstärkung der Reinigungswirkung wird das Lösemittel auf ca. 32 °C erwärmt. Die Trocknung der gereinigten Teile erfolgt oberhalb der Tauchbecken; die Verdunstung des leichtflüchtigen Lösemittels wird durch die Erwärmung der Teile im Lösemittelbad beschleunigt. Zur Verminderung der Lösemittelemissionen sind an den Seitenwänden im Trocknungsbereich Kühlschlangen zur Kondensation der Lösemitteldämpfe angebracht. Der Materialtransport innerhalb der Anlage erfolgt über einen Servo-Transporter.

– Destillationsanlage

Die Destillationsanlage befindet sich auf der rückwärtigen Seite der Reinigungskammer und ist mit dieser verrohrt. Das verunreinigte Lösemittel wird chargenweise zur Destillationsblase gefördert, die indirekt mit Wasser beheizt wird. Das abdestillierte

Rezyklat wird in wassergekühlten Wärmetauschern kondensiert und in einem Rezyklattank gesammelt. Die Destillation erfolgt bei 90 °C und dauert pro Charge ca. acht Stunden.

– Anlagensteuerung

Mit der Anlagensteuerung können über Zeitrelais veränderbare Reinigungsprogramme abgerufen werden, die sich in den Taktzeiten für die Verfahrensschritte Tauchen, Drehen und Trocknen unterscheiden. Weiterhin kontrolliert die Anlagensteuerung auch die Prozeßparameter (Temperatur, Destillationszeit) der Destillationsanlage.

Die technischen Daten der Reinigungsanlage sind in Tabelle 2-4 zusammengefaßt.

Tab. 2-4: Technische Daten der automatischen Reinigungsanlage

Füllvolumen:	Becken 1 Becken 2 Destillationseinheit	260 l 280 l 250 l
Abmaße		Länge: 4,14 m, Breite: 1,20 m, Höhe: 3,20 m
Anschlußwerte:	Heizung Reinigung Kühlung Reinigung Heizung Destillation Kühlwasser Destillation	6 kW 4 kW 12 kW 0,8 m^3/h
Personalbedarf		bei Dauerbetrieb ständig 1 Anlernkraft

Reinigungsablauf

Der Betrieb der Reinigungsanlage erfolgt im Einschicht-Betrieb. Die zu reinigenden Teile werden als Schüttgut in Metallkörben einheitlicher Größe (53 cm × 32 cm × 20 cm) angeliefert, die vom Maschinenbediener in die Anlage geladen werden. Der interne Warentransport mit Tauchen bzw. Drehen der Körbe im Reinigungsmittel erfolgt automatisch. Die Entnahme der Körbe aus der Anlage erfolgt wiederum manuell. Entsprechend den Losgrößen in der Fertigung werden die zu reinigenden Teile in Losgrößen von 10 bis 100 000 Teilen angeliefert.

Je nach Oberflächenempfindlichkeit der zu reinigenden Teile werden die Warenkörbe nur in Lösemittel getaucht oder zusätzlich gedreht. Eine weitere Differenzierung der Waschprogramme hinsichtlich des erforderlichen Reinheitsgrads (vgl. Tab. 2-2) wurde bislang aus betrieblichen Gründen nicht durchgeführt. Die eingestellten Parameter orientieren sich am höchsten Reinheitsgrad. Um diese Anforderungen zu erreichen, werden die Teile hintereinander in beide Becken getaucht. Im ersten Becken erfolgt zunächst eine Vorreinigung von gröberen Verunreinigungen, wobei schon nach kurzer Standzeit des Lösemittels ein Rückfettungseffekt eintritt. Beim anschließenden Tauchen im zweiten Becken erfolgt dann die vollständige Entfettung der Teile.

Die Kontrolle des Stabilisierungsgrads des Lösemittels erfolgt durch Bestimmung des Säurebindungsvermögens über ein vom Lösemittelhersteller angebotenes Titrationsverfahren, das mit einfachen Analysengeräten und gebrauchsfertigen Reagenzien durchgeführt wird. Probleme mit der Stabilisierung ergaben sich bislang nicht, da aufgrund der

relativ hohen Emissionsverluste eine ausreichende Nachstabilisierung allein über die zugegebene Frischware erreicht wurde.

In Abhängigkeit von der Art und der Verschmutzung der zu reinigenden Teile erfolgt die Destillation des verunreinigten Lösemittels aus den Tauchbecken wöchentlich oder zweiwöchentlich. Dabei wird der vollständige Lösemittelinhalt der Anlage in zwei Chargen destilliert. Der bei der Destillation anfallende Destillationssumpf wird ca. drei- bis viermal pro Jahr in eine Wanne abgelassen und von dort zum Abtransport in ein Faß abgefüllt.

Kontrolle des Reinigungsergebnisses

Die Kontrolle des Reinigungsergebnisses erfolgt in den nachfolgenden Verfahrensschritten über die Funktionsprüfung der Teile. Ist zum Beispiel bei zu klebenden Teilen die Klebefläche nicht völlig fettfrei, so wird direkt in der Montage nachgereinigt. Bei größeren Beanstandungen werden die Teile zur erneuten Reinigung an die Produktion zurückgegeben.

Verwertung des Destillationssumpfes

Die Verwertung des Destillationssumpfes, der neben den abgetrennten Verunreinigungen (Öle, Fette) noch ca. 35 % Lösemittel enthält, wird über den Lieferanten des Lösemittels abgewickelt. Dieser gibt den Destillationssumpf an einen Recycling-Betrieb ab, bei dem ein Teil des enthaltenen Lösemittels (bis auf Restgehalte an chlorierten Lösemitteln von ca. 5 %) abgetrennt wird. Der verbleibende Reststoff wird in einer Hydrieranlage verwertet. Der Transport des Destillationssumpfes erfolgt in den leeren Frischwarefässern.

3 Bilanzierung der Stoffströme

Die Stoffströme bei der Teilereinigung sind in Abbildung 3-1 schematisch dargestellt. Für die Gesamtbilanzierung der Lösemittelmengen in der zentralen Reinigungsanlage wurden die Angaben für das Jahr 1992 herangezogen.

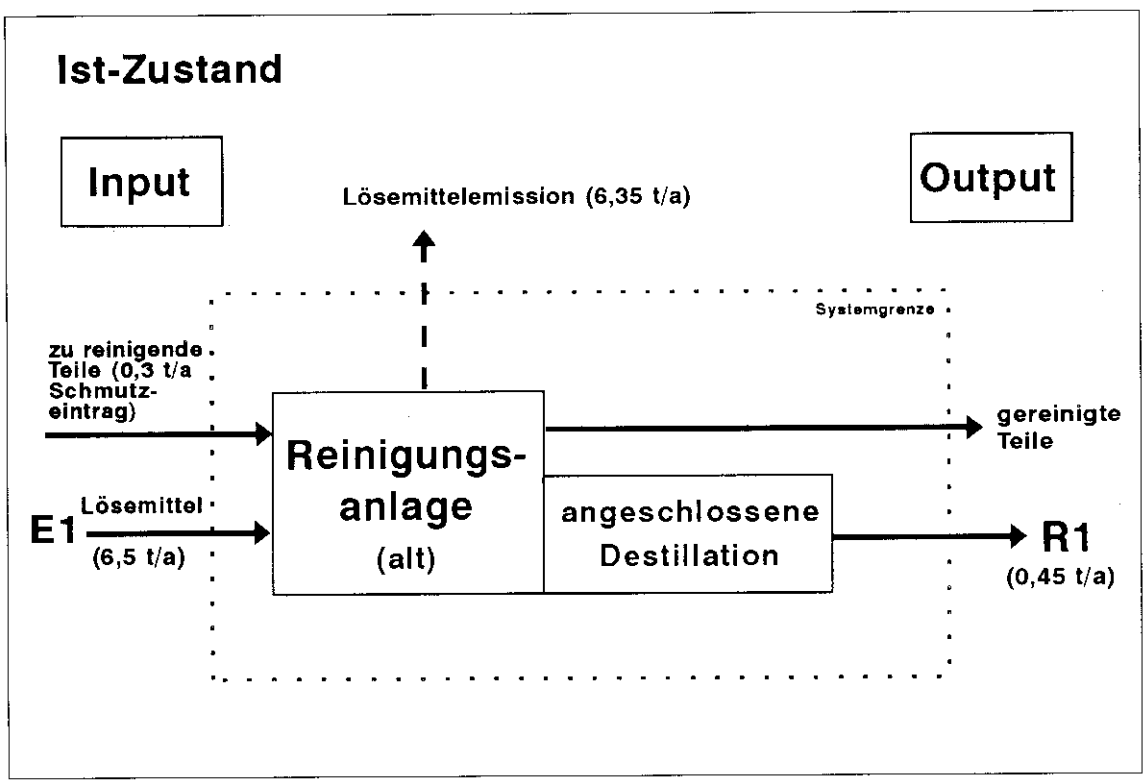


Abb. 3-1: Bilanzierung der Stoffströme bei der Teilereinigung

In Tabelle 3-1 sind die bei der Teilereinigung anfallenden Stoffströme nach Art und Menge dargestellt.

Tab. 3-1: Art und Menge der Einsatz- und Reststoffe bei der Teilereinigung (Angaben für 1992)

Einsatz-stoff	Bezeichnung	Menge (t/a)	Entstehende Reststoffe	Rest-stoff	Menge (t/a)	Schl.-Nr.	Entsorgungs-kosten (DM/t)
E1	Dichlormethan	6,5	Destillations-sumpf	R1	0,45	55206	247

Erläuterungen zu R1 in Tabelle 3-1:
Der Destillationssumpf (R1) besteht zu ca. 35 % aus Dichlormethan und zu ca. 65 % aus den bei der Teilereinigung abgetrennten Ölen und Fetten. Die Differenz zwischen dem eingesetzten Dichlormethan und dem mit dem Destillationssumpf abgegebenen Dichlormethan beträgt ca. 6,35 t/a und stellt den Emissionsverlust der Anlage dar.

4 Bereits durchgeführte Maßnahmen zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von verunreinigten Lösemitteln

4.1 Vermeidung von verunreinigten Lösemitteln

Vermeidung von Reinigungsvorgängen

Durch Vermeidung von Reinigungsvorgängen konnte im Verlauf der letzten Jahre trotz Erhöhung der Produktion die notwendige Reinigungsleistung konstant gehalten werden. Hier sind insbesondere folgende Maßnahmen zu nennen:

- erhöhte Sauberkeit bei der Zahnradherstellung und damit Wegfall von bis dahin üblichen Zwischenreinigungsschritten bei nachfolgenden Verfahrensschritten
- Optimierung des internen Warenflusses zur Vermeidung längerer Aufenthaltszeiten in den Fertigungsbereichen, damit Vermeidung von Verunreinigung durch Staub und Öl aus der Umgebungsluft
- Zwischenlagerung in staubdichten Paternosterlagern, falls längere Lagerzeiten nicht zu vermeiden sind

Vorreinigung der Teile durch Abblasen mit Luft

Durch Installation von Drucklufteinrichtungen zum Abblasen von Teilen zwischen verschiedenen mechanischen Bearbeitungsschritten konnten Zwischenreinigungsschritte unter Einsatz von Lösemittel in der zentralen Teilereinigungsanlage eingespart werden.

Vorreinigung von Teilen in Ultraschallbädern mit wäßrigen Reinigungsmedien

Die in mehreren Bereichen der Fertigung erforderliche Reinigung von einzelnen Teilen, z. B. zur Maßkontrolle, wurde früher in kleinen, mit Lösemittel gefüllten Gefäßen durchgeführt. Diese konnten durch kleine Ultraschallbäder, die mit einem wäßrigen alkalischen Reinigungsmedium gefüllt sind, ersetzt werden. Die Entsorgung der wäßrigen Reinigungsmedien erfolgt gemeinsam mit Kühlschmierstoffen.

4.2 Verminderung von verunreinigten Lösemitteln

Zentralisierung der Reinigung mit Lösemitteln

Der Betrieb führt auch die Vorreinigung der Teile durch, die an verschiedene kleinere Subunternehmer zum Galvanisieren und Lackieren gegeben werden. Mit dieser Geschäftspolitik der zentralisierten Reinigung wird der nach Darstellung des Betriebs häufig ineffiziente Lösemitteleinsatz bei Kleinanwendern vermieden.

4.3 Untersuchungen zur Umstellung der Teilereinigung

Zum Zeitpunkt der Untersuchung hatte der Betrieb aufgrund der begrenzten Betriebserlaubnis für die vorhandene Anlage bereits Alternativen für eine Umstellung der Teilereinigung untersucht. Die konzeptionellen Überlegungen umfaßten die in Tabelle 4-1 aufgeführten Umstellungsvarianten. Zur Überprüfung der Umsetzbarkeit wurden um-

fangreiche Reinigungsversuche durchgeführt und die Auswirkungen der Umstellung auf die spezifischen betrieblichen Gegebenheiten untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4-1 zusammengefaßt.

Tab. 4-1: Untersuchte Varianten zur Umstellung der Teilereinigung

Umstellungsvariante	**Ergebnisse der Untersuchung**
Zentrale Reinigungsanlage mit nicht chloriertem Lösemittel	– Die Reinigungsversuche mit z. T. speziell für den Betrieb hergestellten nicht chlorierten Lösemitteln ergaben keine ausreichende Reinigungswirkung. – Die angebotenen Lösemittel eigneten sich nicht für eine betriebsinterne Destillation. – Die Brennbarkeit der Lösemittel wurde insbesondere im Zusammenhang mit der ebenfalls brandgefährdeten Kunststoffverarbeitung aufgrund von Versicherungsfragen negativ beurteilt.
Zentrale Reinigungsanlage mit wäßrigem Reinigungsmedium	– Versuche mit verschiedenen alkalischen Reinigungsmitteln ergaben, daß ca. 50 % der Reinigungsaufgaben mit einem wäßrigen System gelöst werden können. Probleme bereitete die Reinigung von zugelieferten Aluminiumteilen, die mit speziellen Ziehfetten verunreinigt sind. – Der ca. 3- bis 4fach höhere Energiebedarf bei Einsatz wäßriger Medien gegenüber Lösemitteln wurde negativ beurteilt. – Der größere Platzbedarf hätte erhebliche Umbaumaßnahmen erfordert.
Mehrere dezentrale Reinigungsanlagen mit wäßrigem Reinigungsmedium für Zwischenreinigungsschritte mit geringen Reinheitsanforderungen in Kombination mit einer zentralen Reinigungsanlage mit Lösemittel für Endreinigungen mit hohen Anforderungen	– Diese Umstellungsvariante wurde hinsichtlich des innerbetrieblichen Materialflusses und der Anpassung des Reinigungsaufwands an die Reinigungsaufgabe positiv beurteilt. Sie war jedoch aufgrund der räumlichen Gegebenheiten nur unter sehr großem Aufwand umsetzbar und erforderte insgesamt die größten Investitionen.
Zentrale Reinigungsanlage mit chloriertem Lösemittel nach dem Stand der Technik	– Versuche zur Reinigung mit Tetrachlorethen (Per) ergaben gute Reinigungsergebnisse bei sämtlichen Reinigungsaufgaben. Die Unbrennbarkeit des Lösemittels und der vergleichsweise niedrige Energiebedarf wurden ebenfalls positiv beurteilt. Zudem erfordert die Umstellung keine umfangreichen Baumaßnahmen.

Auf Grundlage dieser Variantenbetrachtung war zum Zeitpunkt der Untersuchung bereits die Entscheidung zugunsten einer neuen zentralen Reinigungsanlage mit chloriertem Lösemittel (Tetrachlorethen) nach dem Stand der Technik gefallen. Die Auswahl des Anlagenherstellers erfolgte auf Grundlage eingeholter Angebote und der obengenannten Reinigungsversuche. Der endgültige Kauf und der Einsatz der neuen Reinigungsanlage an Stelle der derzeitigen Anlage ist für Ende 1994 vorgesehen.

5 Konzepte zur weitergehenden Vermeidung, Verminderung und Verwertung von verunreinigten Lösemitteln

5.1 Einsatz einer CKW-Reinigungsanlage nach dem Stand der Technik

Aufgrund des in Kapitel 4 beschriebenen Ergebnisses der Variantenuntersuchungen wird die Teilereinigung in Zukunft mit einer CKW-Reinigungsanlage nach dem Stand der Technik durchgeführt werden. Im folgenden wird die vom Betrieb ausgewählte Anlage beschrieben.

Reinigungsanlage

Die zukünftige Reinigungsanlage besteht im wesentlichen aus Reinigungseinheit, Destillationseinheit, Umluftreinigungseinheit und Anlagensteuerung. Sämtliche Komponenten sind in einem geschlossenen Anlagengehäuse untergebracht, in das eine Edelstahl-Bodenwanne integriert ist.

- Reinigungseinheit

Die Reinigungseinheit besteht aus einer automatischen Be- und Entladeeinrichtung, einer Arbeitskammer, verschiedenen Filtrationseinrichtungen und einem Lösemittelvorratsbehälter. Mittels der Be- und Entladeeinrichtung erfolgt der interne Transport der Warenkörbe von der Aufgabestelle zur Arbeitskammer und zurück. Die Arbeitskammer ist hermetisch verschließbar, in ihr werden die Teile gereinigt und getrocknet. Der Reinigungsvorgang beginnt mit der Lösemittelzufuhr aus dem Vorratsbehälter in die hermetisch abgeschlossene Arbeitskammer. Dabei wird das Reinigungsmedium unter Druck direkt auf das Reinigungsgut gespritzt. Durch diese mechanische Vorbehandlung kann die nachfolgende Tauchbad-Reinigung verhältnismäßig kurz gehalten werden. Der Reinigungseffekt beim Tauchen kann durch Drehen und Schwenken der Warenkörbe sowie durch den Einsatz von Ultraschall unterstützt werden. Durch indirekte Erwärmung des Lösemittels mittels Wasserdampf ergibt sich eine weitere Möglichkeit zur Steigerung des Reinigungseffekts. Durch Kondensationsentfetten mit Lösemitteldampf aus der Destillationsanlage kann eine rückfettungsfreie Reinigung durchgeführt werden.

Die Anlage verfügt über eine Grobschmutz- und Späneabscheidung sowie über eine Feinfiltration, durch die das Lösemittel mechanisch gereinigt wird, bevor es in den Lösemittelvorratsbehälter zurückgepumpt wird. Nach dem Ablassen des Lösemittels erfolgt die Vakuumtrocknung der Teile ebenfalls in der Arbeitskammer bei einem Druck von ca. 50 mbar. Dies gewährleistet eine schnelle und vollständige Entfernung des verbliebenen Lösemittels.

- Destillationseinheit

In der Destillationseinheit werden kontinuierlich die mit den zu reinigenden Teilen eingeschleppten Verunreinigungen vom Lösemittel getrennt. Die Destillationsblase wird indirekt mit Wasserdampf beheizt. Nach der bei Normaldruck durchgeführten Destillation wird das kondensierte Rezyklat wieder in den Lösemittelvorratsbehälter gepumpt

und steht erneut für die Reinigung zur Verfügung. Die Destillationseinheit verfügt darüber hinaus über Anschlüsse für eine kontinuierliche Vakuum-Destillationsanlage oder eine Heißgasdestillationsanlage, die eine weitergehende Einengung des Destillationssumpfes ermöglichen.

– Umluftreinigungseinheit

Die Umluftreinigungseinheit besteht im wesentlichen aus einem Kondensator, einem Adsorber mit Molekularsiebfüllung und den zugehörigen Einrichtungen zur Regenerierung des Molekularsiebgranulats. Im Kondensator werden die Lösemitteldämpfe aus der Trocknung bei −18 °C auskondensiert. Das gekühlte Abgas wird dem Adsorber zugeführt. Die noch im Abgas enthaltenen Lösemittel werden am Molekularsiebgranulat adsorbiert, und die gereinigte Luft wird als Umluft wieder in die Reinigungsanlage zurückgeführt. Aufgrund der Unbrennbarkeit des Molekularsiebs kann die Regeneration mit Heißluft erfolgen. Das desorbierte Lösemittel wird im Kondensator kondensiert und über einen Zwischenspeicher wieder der Reinigungseinheit zugeführt.

Die Reinigungsanlage weist die in Tabelle 5-1 dargestellten technischen Daten auf.

Tab. 5-1: Technische Daten der automatischen Reinigungsanlage mit integrierter Destillation

Verfahrensschritte	Beladen/Entladen, Tauchen, Kondensatspülen, Vakuumtrocknen, kontinuierliche Destillation – programmierbar
Füllmengen	Reinigungskammer: 180 l Vorratsbehälter: 220 l Destillationsanlage: 160 l Gesamtlösemittelmenge (inkl. Rohre, Filter etc.) 1200 l Adsorber: 80 kg
Abmaße	Länge: 5,2 m, Breite: 2,3 m, Höhe: 2,4 m
elektrischer Anschlußwert	Reinigung: ca. 12 kW Destillation: ca. 27 kW
Kühlwasserbedarf	1,6 m^3/h
Personalbedarf	abhängig vom Automatisierungsgrad

– Anlagensteuerung

Die Anlagensteuerung verfügt über drei Grundprogramme, die nachfolgend beschrieben werden.

Programm 1: Beladen/Entladen Tauchreinigen/Entfetten in heißem Lösemittel – Kondensatspülung mit Lösemitteldampf aus der Destillationsanlage – Teiletrocknung durch Evakuierung der Reinigungs- und Trocknungskammer Kammerspülung mit Abluftreinigung

Programm 2: Beladen/Entladen – Tauchreinigen/Entfetten in heißem Lösemittel Teiletrocknung durch Evakuierung der Reinigungs- und Trocknungskammer – Kammerspülung mit Abluftreinigung

Programm 3: Beladen/Entladen – Kondensatspülung mit Lösemitteldampf aus der Destillationsanlage – Teiletrocknung durch Evakuierung der Reinigungs- und Trocknungskammer – Kammerspülung mit Abluftreinigung

Die einzelnen Taktzeiten können auf Zeitschaltuhren separat eingestellt werden. Die Taktzeiten pro Charge hängen stark vom Chargengewicht, der Teilegeometrie und dem Verschmutzungsgrad ab und liegen erfahrungsgemäß bei ca. fünf bis sieben Minuten. Bei stark schöpfenden Teilen verlängern sich die Taktzeiten. Ein Lösemittel-Konzentrationsmeßgerät kontrolliert die Verriegelung der Arbeitskammer bis zur Unterschreitung der zulässigen Höchstkonzentration.

Reinigungsablauf

Der Reinigungsablauf bei der neuen Reinigungsanlage kann weitgehend automatisiert erfolgen. Die Anlage kann mit einer Beschickungseinrichtung ausgerüstet werden, bei der die Warenkörbe auf Rollenbändern vor und nach der Reinigung gepuffert werden. Über Balkencodes an den Warenkörben kann das entsprechende Waschprogramm abgerufen werden. Der interne Warentransport in der Reinigungsanlage erfolgt vollautomatisch, hierbei bleibt die Arbeitskammer nach der Trocknung so lange verriegelt, bis durch Spülung mit in der Abluftreinigungseinheit gereinigter Umluft die Restlösemittelkonzentration unter 1 g/m^3 gesunken ist.

Das Abpumpen des Destillationssumpfes erfolgt bei Überschreiten einer vorgegebenen Temperatur im Sumpf, die einem Ölgehalt des Destillationssumpfes von ca. 25 % entspricht. Der Inhalt der Destillationseinheit (160 l) wird über ein Leitungssystem mit Gaspendelung in die entsprechenden Containersysteme gepumpt und zur Entsorgung bereitgestellt. Die mit dem Destillationssumpf ausgeschleuste Lösemittelmenge (75 %) muß durch Zugabe von neuem, vollstabilisiertem Lösemittel ergänzt werden. Hierdurch kann gleichzeitig eine Verbesserung des Stabilisierungsgrads erreicht werden. Die Überwachung des Stabilisierungsgrads des Lösemittels hat dennoch regelmäßig mehrmals pro Woche zu erfolgen, gegebenenfalls muß durch Zugabe von Stabilisatorenkonzentrat nachstabilisiert werden.

Zur Überprüfung der Funktionstüchtigkeit der Abgasreinigungseinheit müssen während des Betriebs der Reinigungsanlage Lösemittelkonzentrationsmessungen im gereinigten Umluftstrom durchgeführt werden. Die Regeneration des Molekularsiebgranulats erfolgt über Nacht, wenn die Reinigungsanlage nicht in Betrieb ist.

Reinigungsmittel

Die Teilereinigung wird zukünftig mit hochstabilisiertem Tetrachlorethen (Per) erfolgen, das die in Tabelle 5-2 dargestellten Eigenschaften aufweist.

Tab. 5-2: Angaben zum Teilereinigungslösemittel für die automatische Reinigungsanlage

Gefahrenklasse nach VbF	–
Siedepunkt (°C)	121
Dichte (kg/l)	1,62
Verdunstungszahl (Ether = 1)	9,5
Einkaufspreis	derzeit noch nicht bekannt

Verminderungspotential

– Emissionen

Aufgrund der Umstellung des Reinigungsverfahrens erfolgt eine drastische Verminderung der Lösemittelemissionen. Derzeit werden ca. 6,35 t/a Dichlormethan emittiert. Bei der neuen Anlage werden aufgrund der Anforderungen der 2. BImSchV die Emissionen für Tetrachlorethen für den Normalbetrieb der Reinigungsanlage auf ca. 20 g/d (bei einer Betriebszeit von 8 h) bzw. ca. 5 kg/a abgeschätzt. Dies bedeutet eine Verminderung der Emissionen auf ca. 1 Promille der derzeitigen Fracht.

– Reststoffe

Als Reststoffe werden zum einen das **Austauschlösemittel** (aus dem vollständigen Austausch der Anlagenfüllung) anfallen, zum anderen der regelmäßig aus der Destillationsanlage zu entfernende **Destillationssumpf**. Im folgenden wird eine Abschätzung der zukünftigen Reststoffmengen durchgeführt, die den weiteren Betrachtungen zugrunde gelegt wird.

Austauschlösemittel (R2): Die Austauschhäufigkeit für das gesamte Lösemittelfüllvolumen der Anlage (1 200 l) hängt unter anderem ab von der nur begrenzt durchführbaren Nachstabilisierung des Lösemittels. Die tatsächliche Austauschhäufigkeit kann erst unter Betriebsbedingungen ermittelt werden. Als realistische Annahme kann jedoch eine Standzeit des Lösemittels von einem Jahr angesetzt werden. Unter dieser Annahme fallen zukünftig ca. 2 t/a Austauschlösemittel an.

Destillationssumpf (R3): Die Menge des Destillationssumpfes wird von der Menge an Verunreinigungen und vom Grad der Abtrennung des Lösemittels bestimmt. Letzterer hängt vor allem von der eingesetzten Destillationstechnik ab. Bei der oben beschriebenen integrierten Destillationseinheit muß die Destillation aufgrund der begrenzten Temperaturstabilität von Tetrachlorethen bei einem Ölgehalt von 25 % (entsprechend einem Lösemittelgehalt von 75 %) abgebrochen werden.

Die Menge der derzeit abgetrennten Verunreinigungen (im wesentlichen Öl) beträgt ca. 300 kg/a; bei gleichem Reinigungsergebnis kann dieser Wert auch für die neue Anlage angesetzt werden. Bei einem Lösemittelgehalt des zukünftigen Destillationssumpfes von 75 % bedeutet dies, daß insgesamt ca. 1 200 kg/a Destillationssumpf anfallen werden. Das mit dem Sumpf ausgetragene Lösemittel (ca. 900 kg/a) muß durch Zugabe von Frischware ersetzt werden.

Die Lösemittelbilanz bei Einsatz einer CKW-Reinigungsanlage nach dem Stand der Technik ist in Abbildung 5-1 dargestellt.

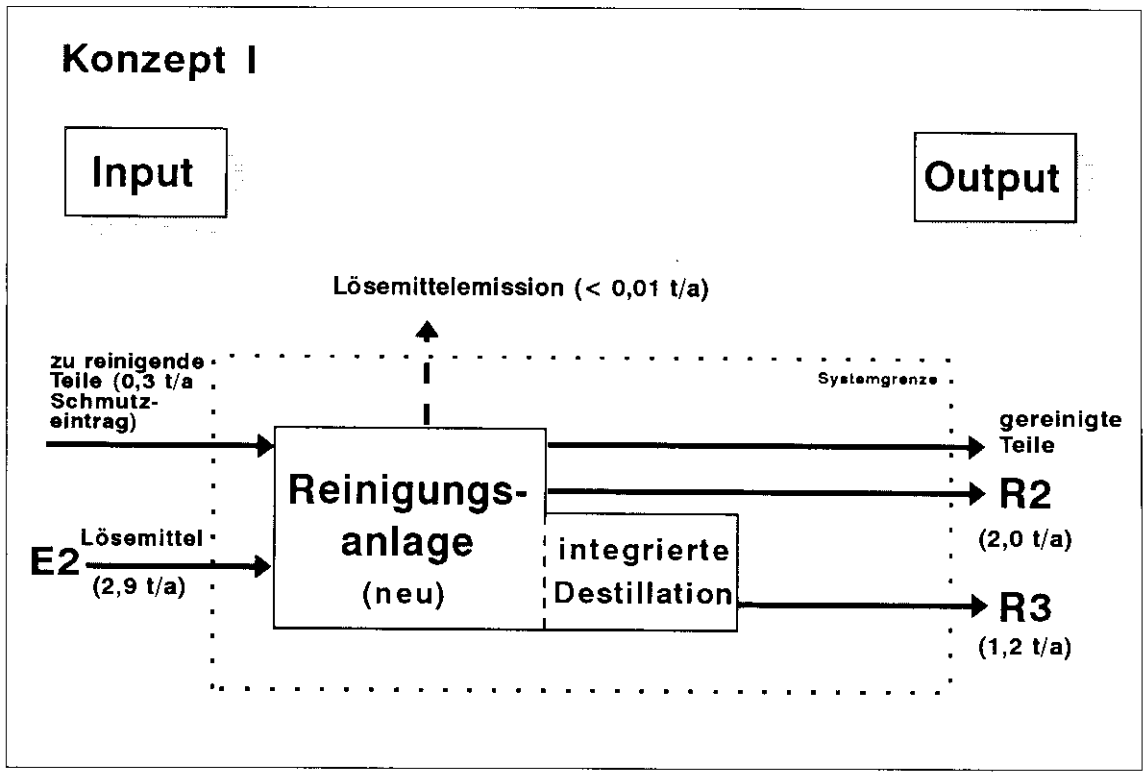


Abb. 5-1: Lösemittelbilanz bei Einsatz einer CKW-Reinigungsanlage nach dem Stand der Technik

Insgesamt werden mit der Umstellung auf die vorgesehene Reinigungsanlage die möglichen anlagenbezogenen Verminderungsmaßnahmen wie

- bessere Ausnutzung des Lösemittels durch Verstärken der Mechanik mittels Spritzen und Ultraschall sowie Erhöhung der Reinigungstemperatur
- Kreislaufführung des Lösemittels (mit Filtration)
- kontinuierliche Aufbereitung des Lösemittels über Destillationsanlage
  regelmäßige Kontrolle des Stabilisierungsgrades und gegebenenfalls Nachdosieren von Stabilisator

weitgehend ausgeschöpft. Trotz dieser Maßnahmen steht der Reduzierung der bislang unkontrolliert entwichenen Emissionen zukünftig die Zunahme der kontrolliert anfallenden Reststoffe gegenüber: Im Vergleich zum Ist-Zustand (mit einem Reststoffaufkommen von 0,45 t/a) wird sich der zukünftige Reststoffanfall (unter den obigen Annahmen 3,2 t/a) etwa um den Faktor 7 erhöhen. Angesichts der wesentlich höheren Reduzierung der Emissionen durch die neue Anlage erscheint diese Erhöhung akzeptabel. Um so wichtiger sind jedoch Maßnahmen zur Verwertung der aus der neuen Anlage anfallenden Reststoffe.

Externe Verwertung von Austauschlösemittel und Destillationssumpf

Sowohl das ausgetauschte Lösemittel als auch der ölhaltige Destillationssumpf können über den Lösemittellieferanten zur Regeneration an einen Aufbereiter gegeben werden. Die Verwertung von Reststoffen mit unterschiedlichen Ölgehalten kann getrennt oder gemeinsam erfolgen. Abhängig von dem noch auszuwählenden Aufbereiter ergeben sich nach dem Verunreinigungsgrad gestaffelte Rücknahmebedingungen und -preise.

Bei einer externen Aufarbeitung ist der Wiedereinsatz von Regeneraten im gleichen Anwendungsbereich (Schließung von Stoffkreisläufen) grundsätzlich möglich. Hierzu ist vom Betreiber im Vorfeld mit dem Anlagenhersteller abzuklären, welche Anforderungen für den Einsatz von Regeneraten in der neuen Teilereinigungsanlage einzuhalten sind. Der beauftragte Regenerateur muß die entsprechenden Qualitätsanforderungen garantieren können.

Die bei den Aufbereitern anfallenden öligen Destillationsrückstände mit Restgehalten an chlorierten Kohlenwasserstoffen können sowohl stofflich (z. B. Hydrierung) als auch thermisch verwertet werden. Ölige Rückstände, aus denen das chlorierte Lösemittel nahezu vollständig abgetrennt wurde (< 0,2 g Gesamthalogen/kg), können gemeinsam mit Altöl einer Verwertung zugeführt werden.

Kostenbetrachtung

Ein Kostenvergleich zwischen der Teilereinigung bei Einsatz einer Reinigungsanlage nach dem Stand der Technik und der derzeitig durchgeführten Teilereinigung besitzt keine praktische Aussagekraft, da die Vorgaben der 2. BImSchV die Umstellung des derzeitigen Reinigungsverfahrens zwingend erforderlich machen. Die folgende Kostenrechnung wird daher auf die in bezug auf die Reststoffvermeidung und -verminderung besonders interessanten Kosten für die Beschaffung, Verwertung und Entsorgung der Lösemittel beschränkt.

Da der Lieferant des Lösemittels noch nicht festliegt und dementsprechend auch verschiedene Punkte wie z. B. Anlieferungsmengen bzw. -gebinde und Rücknahmemodalitäten noch offen sind, sind die in Tabelle 5-3 aufgeführten spezifischen Kosten lediglich als Orientierungswerte anzusehen. Bei der Kostenrechnung wird zunächst davon ausgegangen, daß Frischlösemittel eingesetzt wird (der Einsatz von Regeneraten sollte jedoch geprüft werden, s.o.). Darüber hinaus wird bei der Kostenrechnung davon ausgegangen, daß die Zugabe von frischem Lösemittel für die Lösemittelstabilisierung ausreicht, also keine Nachstabilisierung erforderlich wird.

Tab. 5-3: Abschätzung der zukünftigen Beschaffungs- und Rückgabekosten für Lösemittel

Kosten	**Austauschlösemittel mit Ölgehalt < 5 %**		**Destillationssumpf mit Ölgehalt ca. 25 %**	
	spezifische Kosten (DM/kg)	**absolut (DM/a)**	**spezifische Kosten (DM/kg)**	**absolut (DM/a)**
Beschaffungskosten für neues Lösemittel	1,70	3 400	1,70	1 500
Entsorgungs-/Aufarbeitungskosten	0,80	1 600	1,40	1 700
Summe	–	5 000	–	3 200
Gesamtsumme	ca. 8 200 DM/a			

5.2 Verminderung des Destillationssumpfes

Die Auswechselhäufigkeit und damit die Austauschlösemittelmenge muß an die zukünftigen Betriebsbedingungen angepaßt werden und kann daher nicht vom Betreiber beeinflußt werden. Im Gegensatz dazu können die Menge und Zusammensetzung des Destillationssumpfes durch Einsatz weitergehender Verfahren zur Sumpfdestillation beeinflußt werden. Vom Hersteller der Reinigungsanlage werden optional Verfahren zur

- Vakuumdestillation und
- Lösemittelabtrennung

angeboten. Diese beiden Möglichkeiten der betriebsinternen Lösemittelrückgewinnung bzw. Reststoffreduzierung werden in den nachfolgenden Kapiteln näher untersucht.

5.2.1 Nachgeschaltete betriebsinterne Vakuumdestillation des Destillationssumpfes

Die Menge des Sumpfes aus der Destillationseinheit kann durch Vakuumdestillation in einer zusätzlich an die vorhandene Anlage anzuschließenden Vakuum-Destillationseinheit vermindert werden. Durch die betriebsinterne Rückgewinnung von Lösemittel aus dem Destillationssumpf reduziert sich die extern abzugebende Rückstandsmenge, gleichzeitig trägt diese Maßnahme zur betriebsinternen Schließung von Stoffkreisläufen bei. Die für die nachfolgenden Kostenbetrachtungen zugrunde gelegte Vakuum-Destillationseinheit erfordert keinen zusätzlichen Personalbedarf und weist die in Tabelle 5-4 aufgeführten technischen Daten auf.

Tab. 5-4: Technische Daten der Vakuum-Destillationsanlage zur Rückgewinnung von Lösemittel aus dem Destillationssumpf

Beschickung	kontinuierlich
Verdampfungsdruck	ca. 800 mbar
Regeltemperatur	maximal 180 °C
Stromaufnahme	4 kW
Destillationsleistung	ca. 25 l/h (150 l/Tag)

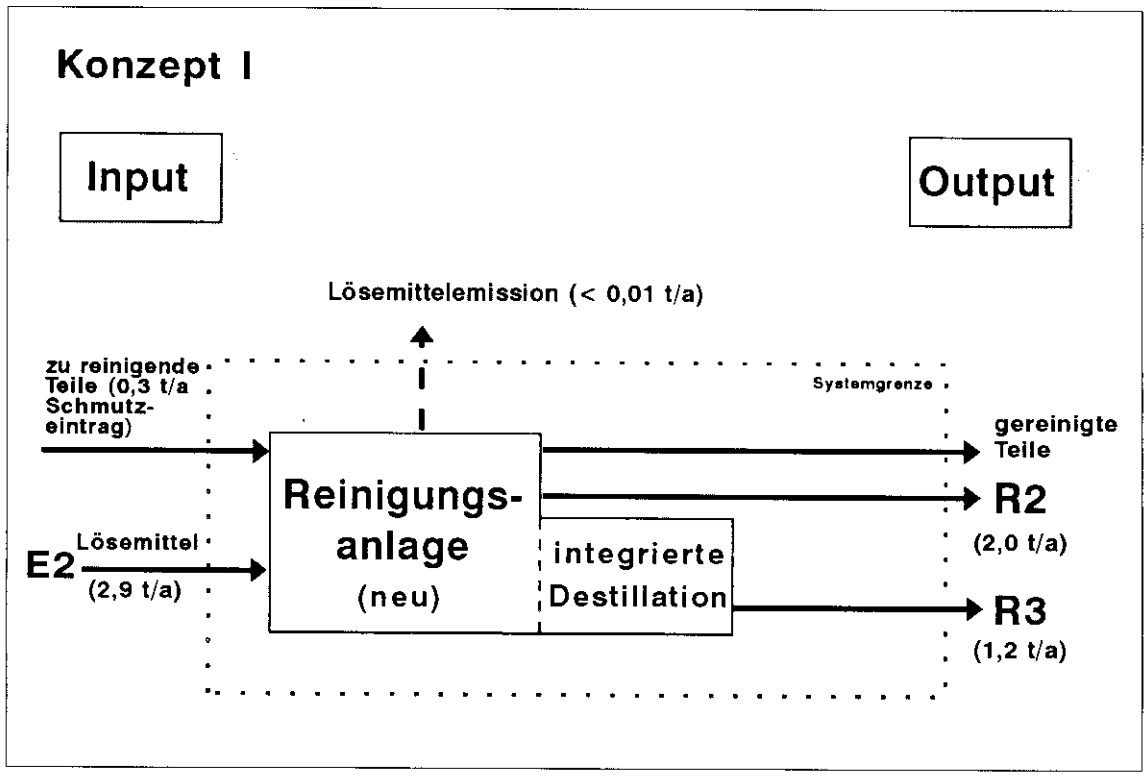
Verminderungspotential

Durch den Einsatz einer zusätzlichen Vakuum-Destillationsanlage kann der Destillationssumpf um ca. 75 % reduziert werden. Die dabei zurückgewonnenen Lösemittelmengen können wieder in der Reinigungsanlage eingesetzt werden. Die aus der Vakuumdestillation anfallende Rückstandsmenge (R4) beträgt ca. 25 % der ursprünglichen Menge und enthält noch ca. 5 % Lösemittel. Die Lösemittelbilanz bei Einsatz einer CKW-Reinigungsanlage nach dem Stand der Technik mit zusätzlicher Vakuumdestillation ist in Tabelle 5-5 und Abbildung 5-2 dargestellt.

Durch die weitgehende Lösemittelrückgewinnung mittels Vakuumdestillation werden nur geringe Lösemittelmengen (5 % der Sumpfmenge, ca. 15 kg/a) aus der Reinigungsanlage ausgeschleust. Der Bedarf an neuem Lösemittel zum Ausgleich der Füllmenge in der Reinigungsanlage wird daher in der Bilanzierung vernachlässigt. Gleichzeitig entfällt jedoch der mit der Zugabe von neuem Lösemittel verbundene Nachstabilisierungseffekt. Eine Nachstabilisierung mit Stabilisatorenkonzentrat kann daher erforderlich werden.

Tab. 5-5: Verminderungspotential durch zusätzliche Vakuumdestillation

Menge	Ohne Vakuumdestillation (t/a)	Mit Vakuumdestillation (t/a)	Veränderung in %
Zugekaufte Menge Lösemittel	2,9	2,0	–31
Entsorgte Menge Reststoffe	1,2	0,3	–75



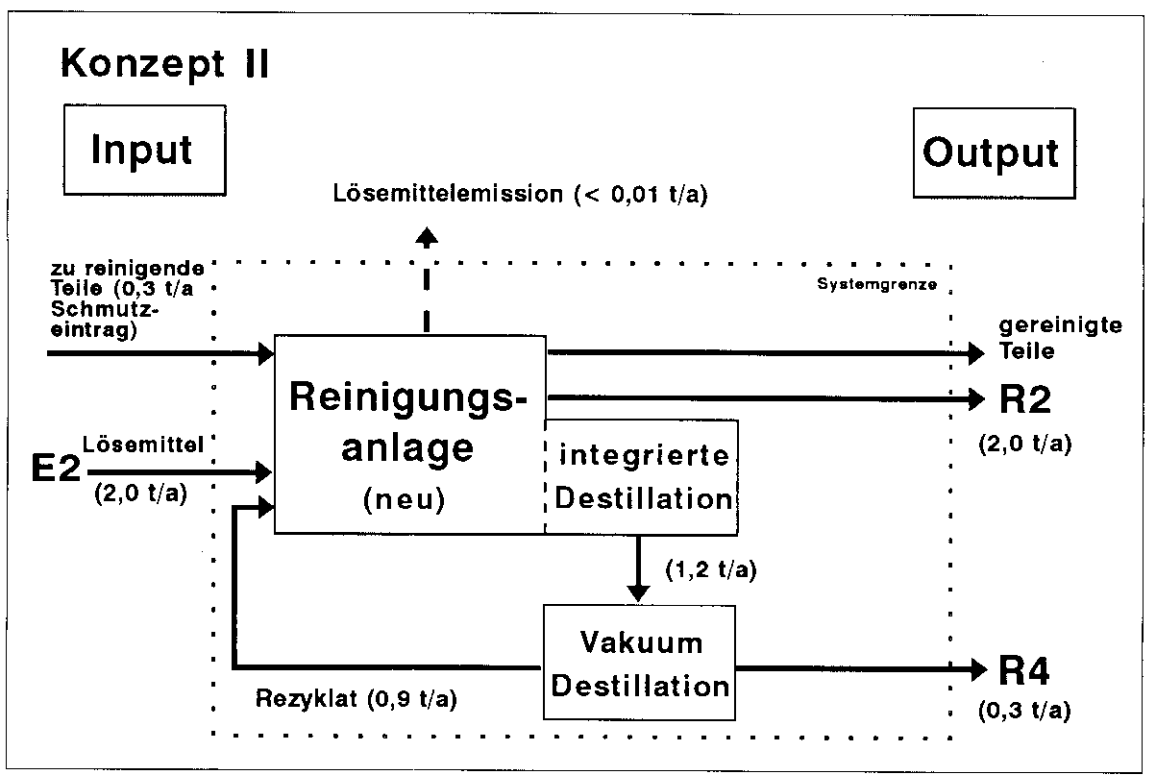


Abb. 5-2: Bilanzierung der Stoffströme bei Einsatz einer CKW-Reinigungsanlage nach dem Stand der Technik ohne und mit zusätzlicher Vakuumdestillation

Verwertung des lösemittelhaltigen Rückstands aus der Vakuumdestillation

Der Rückstand aus der Vakuumdestillation enthält ca. 5 % des chlorierten Lösemittels und kann über Lösemittelhändler an dieselben externen Verwerter abgegeben werden, die auch die Aufarbeitung sonstiger chlorierter Lösemittel übernehmen (s. Kap. 5.1). Aufgrund des hohen Anteils an Verunreinigungen ergeben sich jedoch höhere Rücknahmepreise.

Kostenbetrachtung

Für die Kostenbetrachtung wird davon ausgegangen, daß für die mittels Vakuumdestillation zusätzlich zurückgewonnene Lösemittelmenge (ca. 900 kg) eine Nachstabilisierung erforderlich wird. Erläuterung und Herleitung der investitionsabhängigen Kosten und Betriebskosten finden sich im Anhang.

Tab. 5-6: Gegenüberstellung der Kosten für den Lösemitteleinsatz ohne und mit zusätzlicher Vakuum-Destillationsanlage

Kosten	Ohne Vakuum-Destillationsanlage: CKW-Gehalt des Reststoffs 75 %		Mit Vakuum-Destillationsanlage: CKW-Gehalt des Reststoffs 5 %	
	spezifische Kosten (DM/kg)	absolut (DM/a)	spezifische Kosten (DM/kg)	absolut (DM/a)
Beschaffungskosten für neues Lösemittel	1,70	1 500	–	–
Investitionsabhängige Kosten und Betriebskosten	–	–	–	21 000
Entsorgungs-/ Aufarbeitungskosten	1,40	1 700	2,20	700
Kosten für die Nachstabilisierung des Lösemittels	–		1,00	900
Summe	–	3 200		22 600
Mehrkosten	ca. 19 000 DM/a			

Bei betriebsinterner Vakuumdestillation ergeben sich Mehrkosten von ca. 19 000 DM/a. Diese erheblichen Mehrkosten werden im wesentlichen durch die sehr hohen investitionsabhängigen Kosten für die erforderliche Anlage verursacht. Die Kostenvorteile bei der Beschaffung und Entsorgung des Lösemittels wiegen die weitgehend mengenunabhängigen investitionsabhängigen Kosten aufgrund der relativ geringen zu destillierenden Sumpfmenge (1,2 t/a) nicht auf. Die Auslastung der vom Reinigungsanlagenhersteller optional angebotenen Vakuum-Destillationsanlage, die der Kostenbetrachtung zugrunde gelegt wurde, liegt unter den angenommenen Rahmenbedingungen unter 10 %, obwohl die kleinste verfügbare Baugröße herangezogen wurde.

5.2.2 Nachgeschaltete betriebsinterne Lösemittelabtrennung

Eine weitere Möglichkeit zur betriebsinternen Verminderung der Destillationssumpfmenge aus der Reinigungsanlage besteht durch Verfahren zur Lösemittelabtrennung (siehe Teil A, Kap. 4). Diese bieten die Möglichkeit, praktisch die gesamten im Destillationssumpf der Reinigungsanlage enthaltenen Lösemittelmengen zurückzugewinnen und wieder in der Reinigungsanlage einzusetzen. Der nach der nahezu vollständigen Lösemittelrückgewinnung verbleibende Rückstand besteht ausschließlich aus den in der Reinigungsanlage abgetrennten Verschmutzungen (Ölen und Fetten).

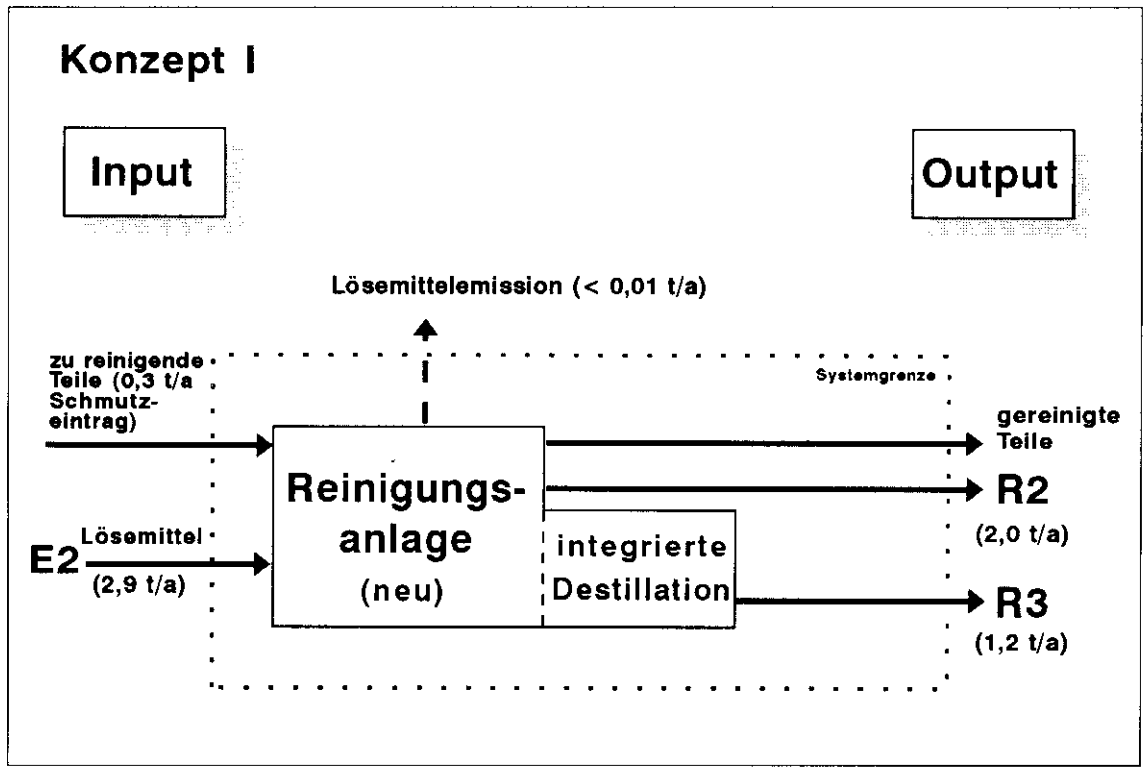
Tab. 5-7: Technische Daten einer Anlage zur Lösemittelabtrennung aus dem Destillationssumpf

Durchsatzleistung	ca. 10 l/h
Betriebstemperatur	90 °C
Stromverbrauch	ca. 0,4 kWh/l
Lösemittelrestgehalte im Rückstand	< 0,01 %

Verminderungspotential

Das Verminderungspotential bei Einsatz einer Anlage zur Lösemittelabtrennung entspricht größenordnungsmäßig dem bei Einsatz der Vakuum-Destillationsanlage und beträgt ca. 75 %. Im Unterschied zur Vakuumdestillation enthält der Rückstand aus der Lösemittelabtrennung (R5) weniger als 0,01 % Lösemittel und kann damit gemeinsam mit anderen Mineralölen zur Verwertung abgegeben werden.

Die Lösemittelbilanz bei Einsatz einer CKW-Reinigungsanlage nach dem Stand der Technik mit zusätzlicher Anlage zur Lösemittelabtrennung ist in Abbildung 5-3 dargestellt.



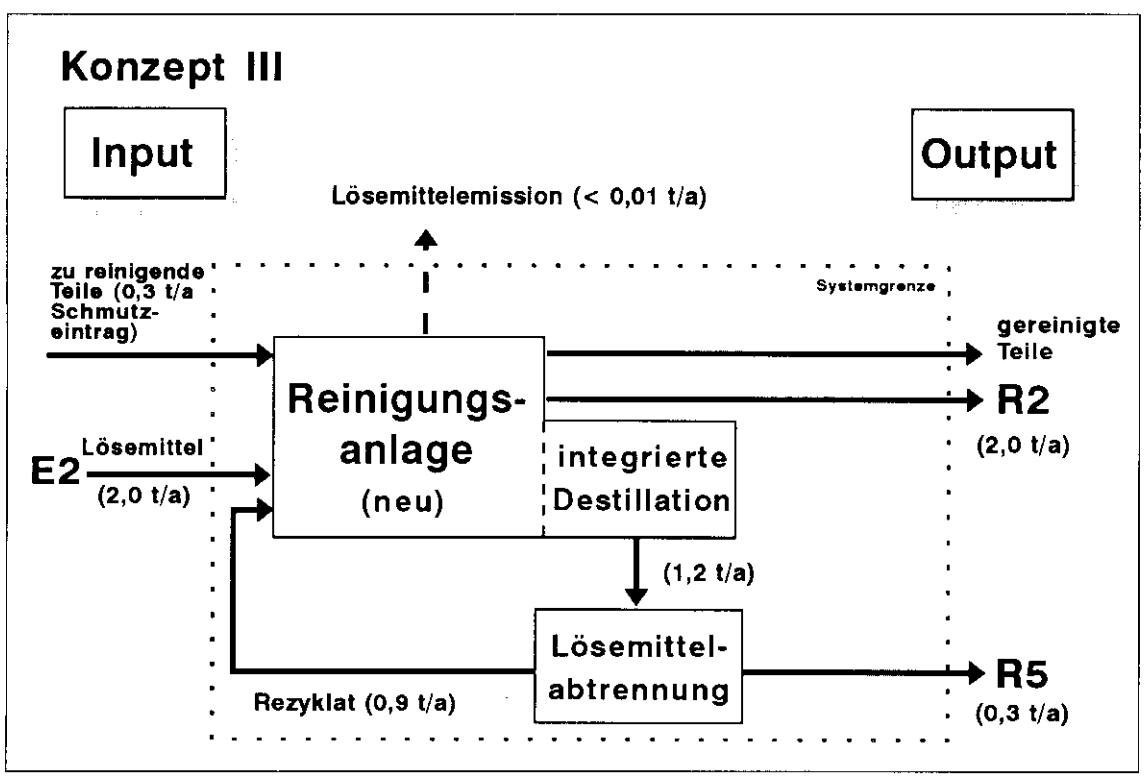


Abb. 5-3: Bilanzierung der Stoffströme bei Einsatz einer CKW-Reinigungsanlage nach dem Stand der Technik ohne und mit zusätzlicher Anlage zur Lösemittelabtrennung

Verwertung des lösemittelfreien Rückstands

Ein innerbetrieblicher Wiedereinsatz des lösemittelfreien Rückstands als Kühlschmierstoff, Ziehfett etc. ist unter den vorliegenden Umständen nicht möglich, da er als heterogenes Gemisch anfällt. Die Abtrennung des chlorierten Lösemittels auf unter 0,2 g Gesamthalogen/kg aus dem Reststoff ermöglicht jedoch eine Verwertung gemeinsam mit sonstigen halogenfreien Mineralölen durch externe Verwerter.

Kostenbetrachtung

Für die Kostenbetrachtung wird davon ausgegangen, daß für die mittels Lösemittelabtrennung zurückgewonnene Lösemittelmenge (ca. 900 kg) eine Nachstabilisierung erforderlich wird. Erläuterung und Herleitung der investitionsabhängigen Kosten und Betriebskosten finden sich im Anhang.

Tab. 5-8: Gegenüberstellung der Kosten für den Lösemitteleinsatz ohne und mit einer zusätzlichen Anlage zur Lösemittelabtrennung

Kosten	**Ohne Lösemittelabtrennung: CKW-Gehalt des Reststoffs 75 %**		**Mit Lösemittelabtrennung: CKW-Gehalt des Reststoffs < 0,01 %**	
	spezifische Kosten (DM/kg)	**absolut (DM/a)**	**spezifische Kosten (DM/kg)**	**absolut (DM/a)**
Beschaffungskosten für neues Lösemittel	1,70	1 500	–	–
Investitionsabhängige Kosten und Betriebskosten	–	–	–	18 000
Entsorgungs-/Aufarbeitungskosten	1,40	1 700	0,40	120
Kosten für die Nachstabilisierung des Lösemittels	–	–	1,00	900
Summe	–	3 200	–	19 020
Mehrkosten	ca. 16 000 DM/a			

Bei betriebsinterner Lösemittelabtrennung aus dem Destillationssumpf in einer speziellen Anlage ergeben sich Mehrkosten von ca. 16 000 DM/a. Diese erheblichen Mehrkosten werden im wesentlichen durch die sehr hohen investitionsabhängigen Kosten für die Anlage zur Lösemittelabtrennung verursacht. Die Kostenvorteile bei der Beschaffung und Entsorgung des Lösemittels wiegen die weitgehend mengenunabhängigen investitionsabhängigen Kosten aufgrund der relativ geringen zu destillierenden Sumpfmenge (1,2 t/a) nicht auf. Die Auslastung der vom Reinigungsanlagenhersteller optional angebotenen Anlage zur Lösemittelabtrennung, die der Kostenbetrachtung zugrunde gelegt wurde, liegt unter den angenommenen Rahmenbedingungen unter 10 %, obwohl die kleinste verfügbare Baugröße berücksichtigt wurde.

5.2.3 Gegenüberstellung der Kosten für externe Verwertung, interne Vakuumdestillation und interne Lösemittelabtrennung

Die Gegenüberstellung der Kosten für die untersuchten Konzeptvarianten sind in Tabelle 5-9 aufgeführt. Konzept I beinhaltet den vom untersuchten Betrieb vorgesehenen Einsatz der Reinigungsanlage nach dem Stand der Technik (s. Kap. 5.1) und die Abgabe des anfallenden Destillationssumpfes an einen externen Verwerter. Die Konzepte II und III basieren auf dem Einsatz der in Kapitel 5.2.1 bzw. 5.2.2 beschriebenen zusätzlichen Anlagen zur Sumpfaufbereitung.

Tab. 5-9: Gegenüberstellung der Kosten für externe Verwertung, interne Vakuumdestillation und interne Lösemittelabtrennung

Kosten	Konzept I externe Verwertung		Konzept II Vakuumdestillation		Konzept III Lösemittelabtrennung	
	spez. Kosten (DM/kg)	absolut (DM/a)	spez. Kosten (DM/kg)	absolut (DM/a)	spez. Kosten (DM/kg)	absolut (DM/a)
Beschaffungskosten für neues Lösemittel	1,70	1 500	–	–	–	–
Investitionsabhängige Kosten und Betriebskosten	–	–	–	21 000	–	18 000
Entsorgungs-/ Aufarbeitungskosten	1,40	1 700	2,20	700	0,40	120
Kosten für die Nachstabilisierung des Lösemittels	–	–	1,00	900	1,00	900
Summe	–	ca. 3 200	–	ca. 22 600	–	ca. 19 000

Unter den in Kapitel 5.1 getroffenen Annahmen zur Zusammensetzung (25 % Ölgehalt) und Menge (1,2 t/a) des zukünftig anfallenden Destillationssumpfes ist die externe Verwertung die wirtschaftlich weitaus günstigste Lösung. Die Verfahren zur weitergehenden internen Rückgewinnung der Lösemittel sind aufgrund der hohen investitionsabhängigen Kosten und der sehr niedrigen Anlagenauslastungen deutlich teurer.

Erst bei Anfallmengen von ca. 10 bis 15 t Destillationssumpf pro Jahr führen die höhere Auslastung der zusätzlichen Anlagen und die Einsparungen beim Lösemittel rechnerisch zu einem Kostenvorteil für die Verfahren zur weitergehenden betriebsinternen Reststoffverminderung.

6 Zusammenfassung

Im untersuchten Betrieb war wegen der begrenzten Betriebserlaubnis für die mit CKW betriebene Altanlage eine Umstellung des Reinigungsverfahrens erforderlich. Aufgrund betriebsinterner Kriterien fiel die Wahl auf eine Reinigungsanlage, die mit einem chlorierten Lösemittel (Tetrachlorethylen) betrieben wird. Mit der Umstellung werden die anlagenbezogenen Verminderungsmaßnahmen nach dem Stand der Technik wie

- bessere Ausnutzung des Lösemittels durch Verstärken der Mechanik mittels Spritzen und Ultraschall sowie Erhöhung der Reinigungstemperatur
- Kreislaufführung des Lösemittels (mit Filtration)
- kontinuierliche Aufbereitung des Lösemittels über Destillationsanlage
- regelmäßige Kontrolle des Stabilisierungsgrades und gegebenenfalls Nachdosieren von Stabilisator

weitgehend ausgeschöpft. Die Gesamtmenge der als Emissionen und Reststoffe abgegebenen CKW wird hierdurch erheblich erniedrigt. Durch die Erfassung der bislang unkontrolliert entwichenen luftseitigen Emissionen kommt es allerdings gegenüber dem Ist-Zustand zu einer Erhöhung des Reststoffaufkommens. Angesichts der wesentlich höheren Reduzierung der Emissionen erscheint dies akzeptabel, insbesondere deshalb, da die anfallenden Reststoffe verwertet werden können. Hierfür wurden die folgenden Möglichkeiten untersucht:

- externe Verwertung von Austauschlösemittel und Destillationsrückstand (über den Lösemittellieferanten)
- innerbetriebliche Aufarbeitung des Destillationsrückstandes durch Vakuumdestillation
- innerbetriebliche Aufarbeitung des Destillationsrückstandes durch Lösemittelabtrennung

Unter abfallwirtschaftlichen Gesichtspunkten sind diese drei Möglichkeiten als gleichwertig anzusehen, wenn bei der externen Aufarbeitung der Wiedereinsatz des Regenerates im Betrieb sichergestellt ist. Angesichts der geringen Mengen des aufzuarbeitenden Destillationsrückstandes schneidet unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten die externe Aufarbeitung als günstigstes Verfahren ab. Bei der innerbetrieblichen Aufarbeitung führt sowohl bei der Vakuumdestillation als auch bei der Lösemittelabtrennung die geringe Auslastung der anzuschaffenden Anlagen zu einer überproportionalen finanziellen Belastung durch die investitionsabhängigen Kosten.

Betrieb 4: Handwerksbetrieb/Einsatz von halogenfreien Lösemitteln zur Gerätereinigung vor der Reparatur

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	**Allgemeine Angaben zum untersuchten Betrieb**	148
2	**Lösemittelspezifische Angaben zum untersuchten Betrieb**	149
2.1	Untersuchte Anfallstellen für verunreinigte Lösemittel	149
2.2	Beschreibung der Reinigungsaufgabe	149
2.3	Derzeit durchgeführtes Reinigungsverfahren	149
3	**Bilanzierung der Stoffströme**	151
4	**Bereits realisierte Maßnahmen zur Verminderung des Anfalls verunreinigter Lösemittel**	153
5	**Konzepte zur weitergehenden Verminderung und Verwertung verunreinigter Lösemittel**	157
5.1	Verwertung von verunreinigten Lösemittelkleinmengen	157
6	**Zusammenfassung der Möglichkeiten zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von Reststoffen**	159

Tabellenverzeichnis

		Seite
Tab. 2-1:	Technische Daten der Teile-Waschanlage	150
Tab. 2-2:	Angaben zum Reinigungslösemittel	150
Tab. 3-1:	Art und Menge des Einsatz- und Reststoffes an der Teile-Waschanlage	152
Tab. 4-1:	Verminderungspotential bei Einsatz einer geschlossenen Teile-Waschanlage mit Kreislaufführung	154
Tab. 4-2:	Gegenüberstellung der Kosten für den Lösemitteleinsatz ohne Kreislaufführung und mit Kreislaufführung (Teile-Waschanlage)	155
Tab. 4-3:	Gegenüberstellung der Kosten für den Lösemitteleinsatz ohne Kreislaufführung und mit Kreislaufführung (Teile-Waschanlage und Waschtisch)	156

Abbildungsverzeichnis

		Seite
Abb. 3-1:	Bilanzierung der Stoffströme an der Teile-Waschanlage	151
Abb. 4-1:	Bilanzierung der Stoffströme der Teile-Waschanlage und der manuellen Reinigung	154

1 Allgemeine Angaben zum untersuchten Betrieb

Bei dem untersuchten Betrieb handelt es sich um eine kleine Elektroreparaturwerkstatt, die Reparaturaufträge für Elektrowerkzeuge und -geräte (z. B. Kompressoren, Winkelschleifer, Aufzugsmotoren, Bohrmaschinen und Küchenabzugshauben) bearbeitet. Der Betrieb hat sich auf die Reparatur von Elektromotoren spezialisiert und verfügt über eine Einrichtung zum Ankerwickeln. Als Vertragswerkstatt bekommt er ca. ein Drittel seiner Aufträge von einem Hersteller von Elektrowerkzeugen. Die restlichen Aufträge stammen von einer Vielzahl von Einzelkunden. Derzeit arbeitet nur der Eigentümer selbst, ein Elektrohandwerksmeister, in der untersuchten Werkstatt. Der Jahresdurchsatz liegt bei ca. 200 Motoren.

2 Lösemittelspezifische Angaben zum untersuchten Betrieb

2.1 Untersuchte Anfallstellen für verunreinigte Lösemittel

Im untersuchten Betrieb werden Lösemittel zur Reinigung der Elektrowerkzeuge und -geräte vor der Reparatur eingesetzt. Hierfür ist eine Teile-Waschanlage vorhanden, die mit Kaltreiniger arbeitet. Darüber hinaus werden Nitroverdünnung und Spezialbenzin bei der manuellen Reinigung von Kleinteilen mittels Pinsel oder Lappen eingesetzt; hierbei verdunsten sie vollständig. Nitroverdünnung dient außerdem zur Viskositätseinstellung von verwendeten Isolierlacken für die Wicklungen. Als Reststoff fällt daher ausschließlich Kaltreiniger aus der Teile-Waschanlage an.

Die Werkstatt ist insgesamt ca. 70 m^2 groß; sie verfügt über einen Raum von 18 m^2 für die Geräte-Demontage und einen weiteren Raum von 25 m^2 für die Ankerwicklung. Der Hof, in dem die Teile-Waschanlage aufgestellt ist, besitzt etwa 80 m^2 Grundfläche.

2.2 Beschreibung der Reinigungsaufgabe

Bei den zu reinigenden Teilen handelt es sich um komplette Gehäuseteile und Motoren, deren Anker neu gewickelt werden müssen. Die anhaftenden Verunreinigungen wie Schmierfett, Öl, Staub und Verbrennungsrückstände müssen vor der Reparatur vollständig entfernt werden.

2.3 Derzeit durchgeführtes Reinigungsverfahren

Die verschmutzten Teile werden von Hand mit Bürste und Lappen vom gröbsten Schmutz befreit. Zur anschließenden Reinigung dient eine Teile-Waschanlage, die im Werkstatthof aufgestellt ist und durch ein Vordach vor Witterungseinflüssen geschützt wird. Diese Waschanlage konnte vom Werkstatteigentümer vor etwa einem Jahr günstig als Gebrauchtgerät erworben werden.

Teile-Waschanlage

Die Teile-Waschanlage besteht aus einer Waschkammer, die mit einem Klarsichtdeckel geschlossen werden kann. In der Waschkammer befinden sich ein Drehrost, eine Pumpe mit Ansaugfilter und eine Sprühlanze zum Abspritzen des Reinigungsgutes. Die Sprühlanze ragt über eine Öffnung aus der Waschkammer nach oben heraus, so daß sie bei geschlossenem Deckel in die gewünschte Richtung gelenkt werden kann. Die Positionierung der zu reinigenden Teile erfolgt durch Ausrichten des Drehrostes mittels eines Stabs, der ebenfalls durch eine Öffnung auf der Oberseite der Waschanlage in die Waschkammer ragt. Die Durchführung des Stabes bzw. der Sprühlanze durch das Gehäuse der Waschkammer wird jeweils durch ein Drehgelenk abgedichtet. Das Lösemittel wird während des Waschvorgangs im unteren Teil der Waschkammer angesaugt und ständig über Filter und Sprühlanze von oben zurück in die Waschkammer gepumpt. Der Waschmittelraum wird durch zwei herausnehmbare Filterwände in drei Kammern geteilt. Dies hat den Vorteil, daß sich der Waschmittelfluß beruhigt und sich der anfallende Schmutz größtenteils am Boden absetzt.

Die Teile-Waschanlage weist die in Tabelle 2-1 dargestellten technischen Daten auf.

Tab. 2-1: Technische Daten der Teile-Waschanlage

Füllvolumen	maximal 60 l
Abmaße	Länge: 0,6 m, Breite: 0,6 m, Höhe: 0,85 m
Stromaufnahme	Anschluß: 0,6 kW, Pumpe: 0,5 kW
Arbeitsdruck Sprühlanze	2,5 bar
Personalbedarf	1 Anlagenbediener

Reinigungsablauf

Das zu reinigende Teil wird auf den Drehrost im Innern der Anlage gelegt und der Deckel geschlossen. Die Reinigung und Entfettung des Teils geschehen durch Abspritzen mit Lösemittel. Mit Hilfe des Stabes kann der Drehrost in die gewünschte Lage gebracht werden, so daß das Teil gründlich von allen Seiten gereinigt werden kann.

Nach Abschluß des Waschvorganges wird das gereinigte Teil in eine Abtropfwanne gelegt und mit einem Lappen trockengerieben. Das in der Wanne aufgefangene verunreinigte Lösemittel wird wieder in die Teile-Waschanlage zurückgeschüttet.

Kontrolle des Reinigungsergebnisses

Durch Sichtkontrolle wird das Reinigungsergebnis überprüft. Sofern notwendig, nimmt der Anlagenbediener eine Nachreinigung mit einem lösemittelgetränkten Pinsel vor.

Eingesetztes Reinigungsmittel

Die Motoren werden nach der Reinigung einer Spannungsprüfung mit 3 000 Volt unterzogen. Aus diesem Grund muß das verwendete Reinigungsmittel eine hohe Durchschlagsfestigkeit (elektrische Neutralität) gewährleisten.

Der zu diesem Zweck eingesetzte Kaltreiniger hat die in Tabelle 2-2 dargestellten Eigenschaften.

Tab. 2-2: Angaben zum Reinigungslösemittel

Siedegrenzen (°C)	157–173
Dichte (kg/l)	0,76
Verdunstungszahl (Ether = 1)	33
Gefahrenklasse nach VbF	A II
Einkaufspreis	5,30 DM/kg

Entsorgung des Reinigungsmittels

Die Waschanlage wurde vor einem Jahr erworben. In dieser Zeit war noch kein Austausch der Lösemittelfüllung erforderlich. Die Entsorgung des Reinigungsmittels war daher zum Zeitpunkt der Untersuchung noch nicht geklärt.

3 Bilanzierung der Stoffströme

Die Bilanzierung des in der Teile-Waschanlage eingesetzten Reinigungsmittels wird im folgenden auf Basis von Schätzungen durchgeführt, da bisher noch kein Austausch der Waschanlagen-Füllung erfolgte und die tatsächliche Standzeit des Reinigungsmittels damit noch nicht bekannt ist. Dementsprechend liegen bislang auch noch keine Analysen der Zusammensetzung des gebrauchten Reinigungsmittels vor.

Für die weiteren Betrachtungen wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Die Standzeit des Reinigungsmittels beträgt ein Jahr (dies ist aufgrund der bisherigen Betriebserfahrungen als minimale Standzeit anzusetzen).
- Das Lösemittel hat beim Austausch 25 % Ölanteil aufgenommen.

Die Waschanlage war zu Betriebsbeginn mit 30 l Lösemittel gefüllt worden. Die nach einem Jahr verbliebene Menge an Reinigungsmittel wurde vom Werkstatteigentümer auf ca. 25 l (ca. 19 kg) geschätzt.

Die Stoffbilanzen für die Teile-Waschanlage sind in Abbildung 3-1 und Tabelle 3-1 dargestellt. Die Differenz zwischen Einsatzmenge, Schmutzeintrag und der Reststoffmenge stellt unter den getroffenen Annahmen den rechnerischen Emissionsverlust dar; er beträgt ca. 39 %.

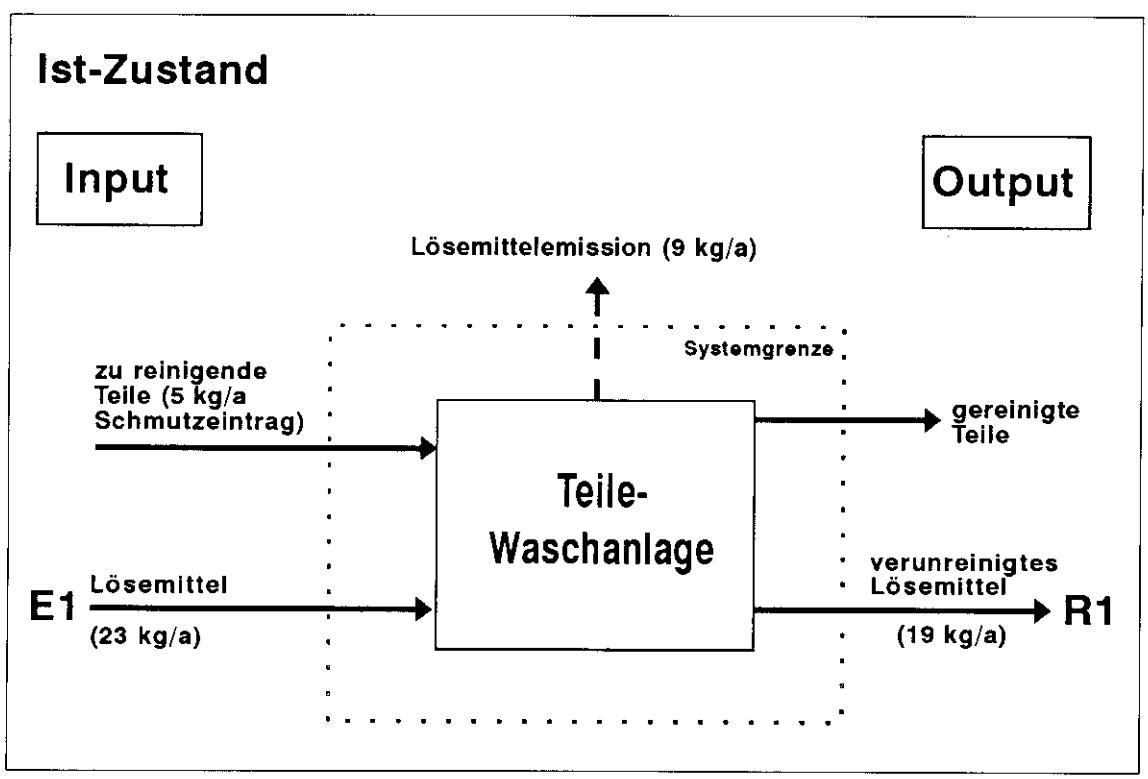


Abb. 3-1: Bilanzierung der Stoffströme an der Teile-Waschanlage

Tab. 3-1: Art und Menge des Einsatz- und Reststoffes an der Teile-Waschanlage

Einsatz-stoff	Bezeichnung	Menge (kg/a)	Entstehende Reststoffe	Rest-stoff	Menge (kg/a)	Schl.-Nr.	Entsorgungs-kosten (DM/kg)
E1	Kaltreiniger	23	Lösemittelgemisch	R1	19	bisher noch nicht entsorgt	

Erläuterung zu R1 in Tabelle 3-1:
Die Menge ist abhängig von den zuvor festgelegten Annahmen (jährliche Einsatzmenge, Schätzungen des Werkstattbetreibers zur Entsorgungsmenge).

4 Bereits realisierte Maßnahmen zur Verminderung des Anfalls verunreinigter Lösemittel

Grobreinigung der demontierten Gehäuse und Motoren

Um die Einsatz- und Reststoffmengen von Lösemitteln zu reduzieren, wird eine Grobreinigung der demontierten Teile vorgenommen. Die verschmutzten Gehäuse und Motoren werden zur Entfernung loser Verunreinigungen mit Preßluft abgeblasen. Feste oder schmierige Verunreinigungen werden mit einem Spachtel oder mit Papier entfernt.

Kreislaufführung mit Filtration des Lösemittels

Bevor die in Kapitel 2 beschriebene Teile-Waschanlage mit Lösemittelkreislaufführung und -filtration eingesetzt wurde, erfolgte die Reinigung der Gehäuse und Motoren manuell in einem offenen Tauchbecken mit Siebeinsatz (Füllvolumen ca. 30 l). Bei der Reinigung durch Abbürsten der Teile unter Zuhilfenahme von Waschbenzin kam es zu direktem Hautkontakt mit dem Reinigungsmittel und zum Einatmen der Waschbenzindämpfe. Nach Beendigung des Reinigungsvorganges wurde das offene Becken abgedeckt, um weitere Lösemittelverluste durch Verdunsten zu verhindern.

Das als Lösemittel eingesetzte Waschbenzin wurde ohne Aufbereitungsschritte so lange verwendet, bis die Reinigungskraft erschöpft war (dies war nach ca. einem Monat der Fall). Das verunreinigte Waschbenzin konnte kostenlos an einer Tankstelle abgegeben werden.

Zur Reduzierung des Lösemittelverbrauchs und zur Verbesserung der Arbeitsplatzbedingungen erwarb der Werkstattbetreiber die in Kapitel 2.3 beschriebene Teile-Waschanlage als Gebrauchtgerät.

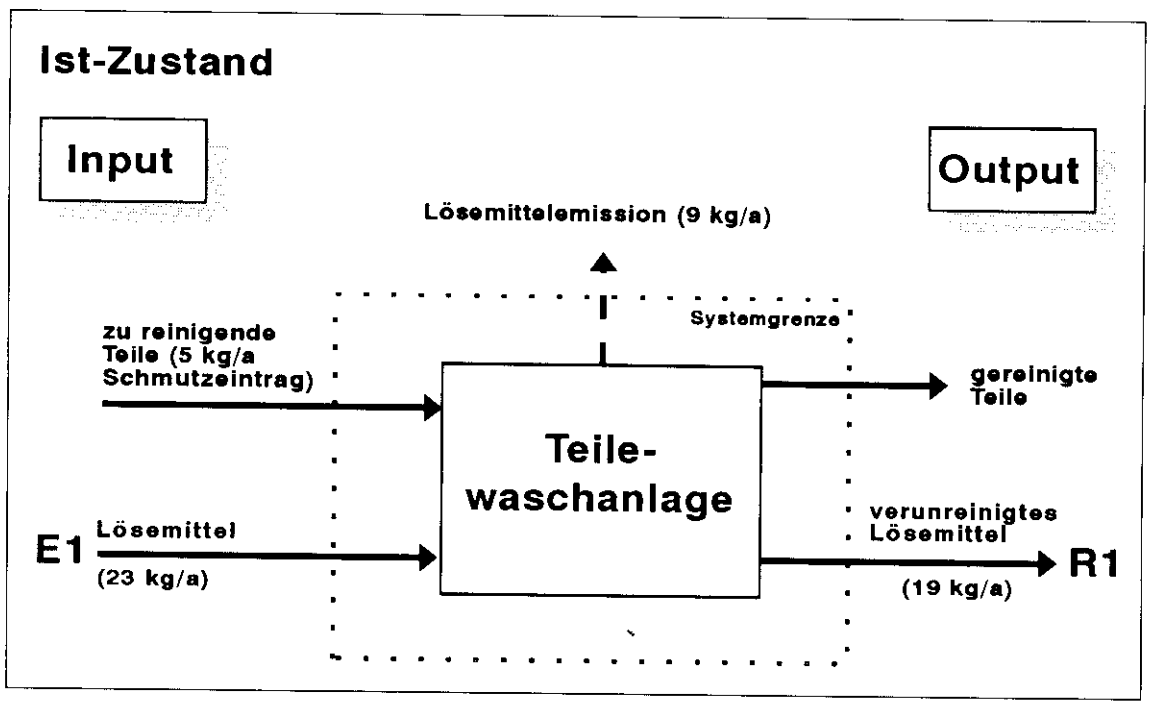
Verminderungspotential durch Lösemittelkreislaufführung und geschlossene Bauart

Das Füllvolumen des für die manuelle Reinigung verwendeten Tauchbeckens hatte sich zum Zeitpunkt des Austausches (d. h. nach ca. einem Monat) durch Verdunstung und Ausschleppung auf ca. 20 l reduziert. Hieraus errechnen sich eine Einsatzmenge von ca. 360 l/a (270 kg/a) und eine Reststoffmenge von ca. 240 l/a (180 kg/a). Im Vergleich ergeben sich für die Teile-Waschanlage unter den in Kapitel 3 festgelegten Annahmen eine eingesetzte Menge an Lösemittel von nur 30 l/a (23 kg/a) und eine Reststoffmenge von 25 l/a (19 kg/a).

Die Mengenänderungen sowie die Stoffströme der Teile-Waschanlage und der manuellen Reinigung sind in Tabelle 4-1 bzw. Abbildung 4-1 gegenübergestellt.

Tab. 4-1: Verminderungspotential bei Einsatz einer geschlossenen Teile-Waschanlage mit Kreislaufführung

Menge	Manuelle Teilereinigung (kg/a)	Teile-Waschanlage (kg/a)	Veränderung in %
Zugekaufte Menge Lösemittel	270	23	–91
Entsorgte Menge Reststoffe	180	19	–90
Emissionen	95	9	–90



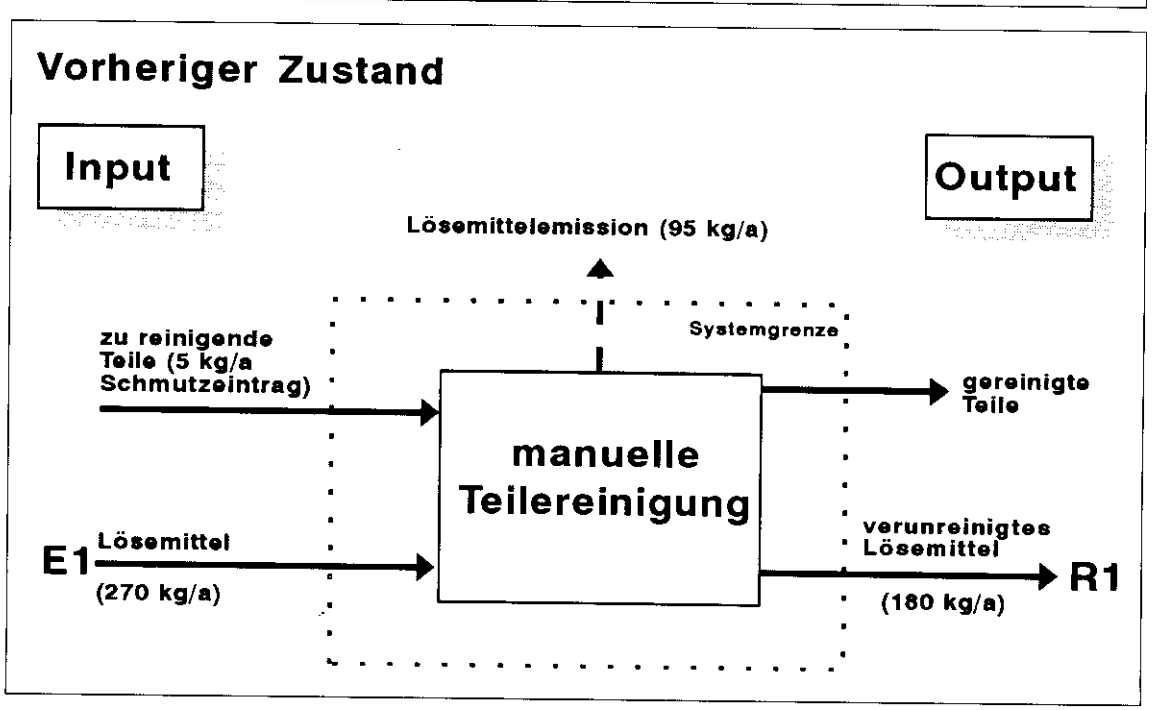


Abb. 4-1: Bilanzierung der Stoffströme der Teile-Waschanlage und der manuellen Reinigung

Kostenbetrachtung

Die im untersuchten Betrieb vorliegenden Randbedingungen (einerseits kostenlose Entsorgung des früher angefallenen Waschbenzins, andererseits kostengünstiger Einkauf der Waschanlage als Gebrauchtgerät) sind nicht generell auf andere Betriebe übertragbar. Aus diesem Grund wird der Kostenvergleich zwischen manueller Teilereinigung und Teile-Waschanlage im folgenden auf der Basis von Marktpreisen durchgeführt.

Die Kosten für den Lösemitteleinsatz ohne und mit Kreislaufführung sind in Tabelle 4-2 gegenübergestellt (Erläuterung und Herleitung der Kosten siehe Anhang). Da sich die Personalkosten für die Teile-Waschanlage gegenüber der manuellen Reinigung nicht geändert haben, werden sie für beide Varianten vernachlässigt.

Tab. 4-2: Gegenüberstellung der Kosten für den Lösemitteleinsatz ohne Kreislaufführung und mit Kreislaufführung (Teile-Waschanlage)

Kosten	**Ohne Kreislaufführung (manuelle Reinigung)**		**Mit Kreislaufführung (Teile-Waschanlage)**	
	spezifische Kosten	**absolut (DM/a)**	**spezifische Kosten**	**absolut (DM/a)**
Beschaffungskosten Lösemittel	1,80 DM/kg	490	5,30 DM/kg	120
Investitionsabhängige Kosten und Betriebskosten	–	–	–	ca. 1 500
Entsorgungs-/ Aufarbeitungskosten	0,80 DM/kg	150	ca. 3,70 DM/kg	70
Summe	–	640	–	ca. 1 700
Mehrkosten	ca. 1 000 DM/a			

Die Gegenüberstellung zeigt, daß bei Einsatz der in Kapitel 2 beschriebenen Teile-Waschanlage unter Annahme von Marktpreisen im Vergleich zur manuellen Teilereinigung Mehrkosten von ca. 1 000 DM/a entstehen. Diesen wirtschaftlichen Nachteilen stehen allerdings die Vorteile im Bereich des Arbeitsschutzes, einer besseren Reinigungsleistung sowie einer erheblichen Reduzierung des Lösemitteleinsatzes gegenüber: Obwohl die Teile-Waschanlage im Vergleich zur manuellen Reinigung ein höherwertiges (und damit teureres) Lösemittel erfordert, liegen die reinen Beschaffungs- und Entsorgungskosten durch die effektivere Ausnutzung des Lösemittels bei der geschlossenen Kreislaufführung mit ca. 190 DM/a deutlich (um ca. 70 %) niedriger als bei der offenen Handhabung ohne Kreislaufführung mit ca. 640 DM/a.

Als kostengünstige Alternative zur Anschaffung einer Teile-Waschanlage bietet sich für vergleichbare Handwerksbetriebe der Kauf eines Waschtisches an (vgl. Beschreibung Teil A, Kap. 4.2). Hiermit können vergleichbare Einsparungen an Lösemittel wie mit einer Teile-Waschanlage erzielt werden. Allerdings besitzt eine Waschanlage die Vorteile der besseren Arbeitsplatzbedingungen (Reinigung unter geschlossenem Klarsichtdeckel, direkter Kontakt mit dem Lösemittel kann so weit wie möglich vermieden werden) sowie eines höheren Arbeitsdruckes für eine verbesserte Reinigungswirkung.

Für einen Waschtisch fallen Anschaffungskosten von ca. 1 500 DM an; möglich ist auch die Miete eines entsprechenden Waschtisches. Ein Kostenvergleich für manuelle Reinigung, Teilewaschanlage und Waschtisch (Kauf oder Miete) findet sich in Tabelle 4.3 (Erläuterung und Herleitung der investitionsabhängigen Kosten siehe Anhang, zu den Lösemittelpreisen siehe Kap. 5).

Tab. 4-3: Gegenüberstellung der Kosten für den Lösemitteleinsatz ohne Kreislaufführung und mit Kreislaufführung (Teile-Waschanlage und Waschtisch)

Kosten	**Ohne Kreislaufführung**		**Mit Kreislaufführung**					
	Manuelle Reinigung		**Kauf einer Teile-Waschanlage**		**Kauf eines Waschtisches**		**Mieten eines Waschtisches**	
	spezifische Kosten	**absolut (DM/a)**	**spezifische Kosten**	**absolut (DM/a)**	**spezifische Kosten**	**absolut (DM/a)**	**spezifische Kosten**	**absolut (DM/a)**
Beschaffungskosten Lösemittel	1,80 DM/kg	490	5,30 DM/kg	120	8 DM/kg (inkl. Verwertung)	180	Komplettangebot	570
Investitionsabhängige Kosten und Betriebskosten	–	–	–	ca. 1 500	–	435		
Entsorgungs-/ Aufarbeitungskosten	0,80 DM/kg	150	ca. 3,70 DM/kg	70	–	–		
Summe	–	640	–	ca. 1 700	–	615	–	570

5 Konzepte zur weitergehenden Verminderung und Verwertung verunreinigter Lösemittel

5.1 Verwertung von verunreinigten Lösemittelkleinmengen

Ein Austausch des verunreinigten Lösemittels aus der Teile-Waschanlage war bislang noch nicht erforderlich, daher ist der Entsorgungsweg zur Zeit noch offen. Im folgenden werden verschiedene Möglichkeiten zur Verwertung von Lösemittelkleinmengen untersucht.

Rückgabe an den Lösemittellieferanten

Eine Rückgabe des verunreinigten Lösemittels an den derzeitigen Lieferanten ist prinzipiell möglich (dieser gibt es zur Verwertung an den Hersteller weiter). Allerdings werden nur Mengen ab 150 l angenommen. Der Lieferant führt als Begründung hierfür den zu hohen finanziellen Aufwand für die Beprobung von Kleinmengen gegenüber dem anschließenden Gewinn aus der Verwertung an.

Da im untersuchten Betrieb die Mindestmenge von 150 l an verunreinigtem Lösemittel erst nach ca. sechs Jahren anfallen würde, kommt eine Rückgabe an den derzeitigen Lieferanten nicht in Frage. Mittlerweile gibt es auf dem Markt jedoch Lösemittelhersteller mit einem großen Rücknahmenetz, die eine Abholung mit anschließender Verwertung des verunreinigten Lösemittels bereits ab einer Mindestmenge von 50 l anbieten. Ein Lösemittel, das die Anforderungen des untersuchten Betriebs an die Reinigung – hohe Durchschlagsfestigkeit und vollständige Fett- und Spanentfernung – erfüllt, wird zu einem Preis von 8 DM/kg (bei Abnahme von 50 l) bzw. 6,50 DM/kg (bei Abnahme von 200 l) angeboten. Im Preis eingeschlossen sind die Kosten für Abholung und Verwertung des verunreinigten Lösemittels. Bei der ersten Lieferung wird verunreinigtes Lösemittel, das noch von einem anderen Hersteller stammt, kostenlos zur Entsorgung übernommen.

Voraussetzung für die Übernahme des verunreinigten Lösemittels ist immer die getrennte Sammlung von anderen Reststoffen wie z. B. Altöl.

Abgabe von Sonderabfallkleinmengen

In Baden-Württemberg haben sich regional ansässige Entsorgungsunternehmen auf die Annahme von Sonderabfallkleinmengen spezialisiert (Adressen solcher Unternehmen können beim Umweltberater der zuständigen Handwerkskammer erfragt werden). Diese Entsorgungsunternehmen geben die gesammelten Kleinmengen an Verwerter oder Abfallbeseitiger weiter. Die Möglichkeiten einer stofflichen Verwertung sind im Vergleich zur Rückgabe an den Hersteller allerdings eingeschränkt, da vom Entsorger im allgemeinen eine größere Zahl von Lösemitteln gemeinsam gesammelt und weitergegeben wird.

Darüber hinaus können sich für den Betrieb praktische Nachteile ergeben gegenüber der Rückgabe an den Lieferanten: So muß das verunreinigte Lösemittel selbst zum Entsorgungsunternehmen transportiert werden, wobei die Vorschriften des Abfallgesetzes (AbfG) zu beachten sind. Wenn im jeweiligen Stadt- oder Landkreis der Transport von geringfügigen Mengen nicht per Allgemeinverfügung freigestellt ist, dürfen Ab-

fälle gewerbsmäßig oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmen nur mit Genehmigung der unteren Abfallrechtsbehörde befördert werden. Hierzu ist im Fall von Kleinmengen vor dem Transport ein formloses Mitteilungsschreiben an die Abfallrechtsbehörde zu richten. Nähere Informationen erteilen die Abfallberater der Stadt- und Landkreise.

Weiterhin organisieren manche Innungen für ihre Mitglieder sogenannte Sammelfahrten oder Sammeltage für bestimmte, in der jeweiligen Branche üblicherweise anfallende Sonderabfallarten (beispielsweise die Schreinerinnungen Backnang und Waiblingen). Die Handwerksinnung im Stadtkreis des untersuchten Betriebes bietet jedoch keine derartigen Sammlungen für Sonderabfallkleinmengen an.

Für die Abgabe von Kleinmengen an verunreinigten halogenfreien Lösemitteln bei einem entsprechenden Entsorgungsunternehmen gelten 1993 Richtpreise von ca. 1,90 bis 3,90 DM/kg (je nach Verunreinigungsgrad des Lösemittels). Dazu kommt eine pauschale Gebühr von 15 DM für den Übernahmeschein, mit dem der zuständigen Behörde gegenüber die ordnungsgemäße Entsorgung des Lösemittels nachgewiesen werden muß.

Bei Anlieferung von 19 kg verunreinigtem Lösemittel ergibt sich ein Gesamtentsorgungspreis in Höhe von 2,70 bis 4,70 DM/kg. Im Fall des untersuchten Betriebes liegen die spezifischen Kosten für Beschaffung und Entsorgung des eingesetzten Lösemittels bei 8 bis 10 DM/kg und damit in der gleichen Größenordnung wie bei Kauf und Rückgabe an einen entsprechenden Lieferanten.

6 Zusammenfassung der Möglichkeiten zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von Reststoffen

In Handwerksbetrieben werden im allgemeinen nur relativ geringe Mengen an Lösemitteln eingesetzt. Trotzdem bieten sich auch hier Möglichkeiten der Vermeidung, Verminderung und Verwertung von Reststoffen. Im untersuchten Betrieb wurde eine Kreislaufführung durch Einsatz einer Waschanlage realisiert und damit eine Reststoffreduktion von 90 % und eine Verminderung von Emissionen sowie eine Verbesserung des Arbeitsschutzes und eine bessere Reinigungsleistung erreicht.

Die Kosten für Lösemittelbeschaffung und -entsorgung für die Waschanlage liegen bei ca. 190 DM/a (entsprechend ca. 30 % der bei manueller Reinigung entstehenden Lösemittelkosten). Insgesamt ergeben sich Einsparungen durch den Einsatz der Waschanlage allerdings nur unter den im untersuchten Betrieb gegebenen Rahmenbedingungen (günstiger Erwerb einer Gebrauchtanlage). Als wirtschaftliche Alternative unter Berücksichtigung üblicher Marktpreise bietet sich die Anschaffung oder Miete eines Waschtisches an. Hiermit können Reststoffreduzierungen in einer ähnlichen Größenordnung erzielt werden, allerdings fallen die Vorteile bezüglich höherer Reinigungsleistung und Arbeitsschutz weg.

Auch Kleinmengen an verunreinigtem Lösemittel unter 100 l können zur Verwertung bei bestimmten Lösemittelhändlern zurückgegeben werden. Deshalb sollte schon beim Kauf des Lösemittels die Möglichkeit der Rückgabe des verunreinigten Lösemittels zur Verwertung ein Kriterium für die Auswahl des Lösemittelhändlers darstellen. Voraussetzung für die Übernahme des verunreinigten Lösemittels ist immer die getrennte Sammlung von anderen Reststoffen wie z. B. Altöl.

Anhang

Inhaltsverzeichnis

		Seite
0	Grundlagen der durchgeführten Kostenbetrachtungen	162
1	Kostenbetrachtungen zu Betrieb 1	165
2	Kostenbetrachtungen zu Betrieb 2	167
3	Kostenbetrachtungen zu Betrieb 3	170
4	Kostenbetrachtungen zu Betrieb 4	172

Tabellenverzeichnis

		Seite
Tab. 0-1:	Wirtschaftliche Eingangsgrößen	163
Tab. 0-2:	Abfallabgabe in Baden-Württemberg	163
Tab. 0-3:	Herleitung der berücksichtigten Kostenarten	164
Tab. 1-1:	Kosten der Vakuum-Destillationsanlage für die Aufarbeitung des Verdünners (11,4 t/a E2) (zu Kap. 4.2)	165
Tab. 1-2:	Anteilige Betriebskosten der Vakuum-Destillationsanlage für die Destillation von Teilereinigungslösemittel (6,1 t/a E1) (zu Kap. 5.1.3.1)	166
Tab. 1-3:	Herleitung der Entsorgungs-/Aufbereitungskosten für die Lohndestillation	166
Tab. 2-1:	Kosten der Destillationsanlage für das Gerätereinigungslösemittel (zu Kap. 4.2.2)	167
Tab. 2-2:	Kosten der automatischen Reinigungsanlage (zu Kap. 5.1.1)	168
Tab. 2-3:	Kosten der Destillationsanlage für das Teilereinigungslösemittel (zu Kap. 5.1.2)	168
Tab. 2-4:	Herleitung der Entsorgungs-/Aufbereitungskosten für die Lohndestillation	169
Tab. 3-1:	Kosten der Vakuum-Destillationsanlage (zu Kap. 5.2.1)	170
Tab. 3-2:	Kosten der Anlage zur Lösemittelabtrennung (zu Kap. 5.2.2)	171
Tab. 4-1:	Kosten für den Kauf eines Waschtisches (zu Kap. 4)	172
Tab. 4-2:	Kosten der Teile-Waschanlage und ihre Herleitung	173

0 Grundlagen der durchgeführten Kostenbetrachtungen

Bei der Betrachtung der zu berücksichtigenden Kosten wird unterschieden nach investitionsabhängigen Kosten und Betriebskosten.

Die **investitionsabhängigen Kosten** stellen die fixen Kosten dar, das heißt, sie fallen auch bei Nichtbetreiben der Anlage an. Sie setzen sich zusammen aus den Abschreibungen und den Zinsen für die Anschaffungskosten der Anlage.

Anschaffungskosten: Die Anschaffungskosten stellen bei bereits vorhandenen Anlagen die vom Betrieb tatsächlich aufgewendeten Kosten dar. Bei geplanten Anlagen werden im folgenden die durchschnittlich aufzuwendenden Kosten im Jahr 1993 eingesetzt, die sich aus Anfragen bei unterschiedlichen Herstellern ergaben.

Abschreibungen: Die Anschaffungskosten werden linear auf den festgelegten Abschreibungszeitraum verteilt.

Für Anlagen mit einem Anschaffungswert bis maximal 10 000 DM wird entsprechend dem geplanten Nutzungszeitraum und dem Anlagegut (AfA-Liste) ein Abschreibungszeitraum von fünf Jahren angesetzt. Für Anlagen mit einem Anschaffungswert $>10\,000$ DM wird ein Abschreibungszeitraum von zehn Jahren angesetzt.

Zinsen: Es wird angenommen, daß sich das Unternehmen die Hälfte des zu investierenden Kapitals auf dem Kapitalmarkt zu einem Marktzins von 8 % beschafft. Die andere Hälfte des Kapitals stammt aus Eigenfinanzierung.

Bei den **Betriebskosten** handelt es sich um sogenannte variable Kosten, da sie nur bei Betrieb der Anlage anfallen. Sie setzen sich zusammen aus Personal-, Energie- und Instandhaltungskosten. Die Personalkosten werden in den vorliegenden Betriebsuntersuchungen immer zu den variablen Kosten gerechnet, da das eingesetzte Personal bei Nichtnutzung der betrachteten Anlagen anderweitig eingesetzt werden kann.

Personalkosten: Für Anlernkräfte wird ein Stundensatz von 60 DM/h angenommen.

Jährlich werden maximal 240 Arbeitstage à 7,5 h/Tag angesetzt. Bei Anlagen, die nicht über das gesamte Jahr betrieben werden, werden entsprechend weniger Tage angesetzt.

Energiekosten: Für die spezifischen Energiekosten werden 0,25 DM je kWh angenommen.

Jährlich werden maximal 240 Arbeitstage angesetzt (zur Verfügung stehende Arbeitstage nach Abzug von Stillstandszeit infolge von Wartung). Bei Anlagen, die nicht über das gesamte Jahr betrieben werden, werden entsprechend weniger Tage angesetzt.

Instandhaltungskosten: Die Instandhaltungskosten für die betrachteten Anlagen werden mit 5 % der Anschaffungskosten angesetzt (z. B. Austausch bzw. Reinigung von Filtern und Zuleitungsschläuchen).

Unter die Betriebskosten fallen weiterhin die Kosten für die einzusetzenden Betriebsmittel. Hier werden nur die wesentlichen **Beschaffungs- und Entsorgungs-/Aufbereitungskosten** (inklusive Transportkosten) einzeln betrachtet. Posten mit nur geringen Kosten wie z. B. Hydrauliköl sind in den Instandhaltungskosten pauschal enthalten.

Der Kapitalmarktzins ist in der Regel schwer zu prognostizieren. Um den Unsicherheitsfaktor der Inflationsrate zu umgehen, wird der Kapitalmarktzins real angegeben, unter der Annahme, daß er für den gewählten Betrachtungszeitraum konstant bleibt.

Die Werte für den Kapitalmarktzins und der Betrachtungszeitraum sind in Tabelle 0-1 angegeben.

Tab. 0-1: Wirtschaftliche Eingangsgrößen

Kapitalmarktzins	8 % p.a. real
Betrachtungszeitraum	10 Jahre

Abfallabgabe

Nach dem Abfallabgabengesetz der Landesregierung Baden-Württemberg sind seit Beginn des Jahres 1991 die in der AbfBestV genannten besonders überwachungsbedürftigen Abfallarten ab einer jährlichen Menge von mindestens 500 kg mit einer Abfallabgabe belegt. Betriebe, in denen insgesamt weniger als 500 kg/a überwachungsbedürftige Abfälle anfallen, sind von der Abfallabgabe befreit. Die Abfallarten sind in drei Kategorien unterteilt, für die die Abgabe unterschiedlich hoch ist (vgl. Tab 0-2).

Tab. 0-2: Abfallabgabe in Baden-Württemberg

Abfälle der Kategorie	**Abfallabgabe**	
	1992	**1993**
1	50 DM/t	100 DM/t
2	100 DM/t	200 DM/t
3	150 DM/t	300 DM/t

Preise

Alle in den folgenden Tabellen und in den Konzepten angegebenen Preise stellen die Netto-Preise des Jahres **1993** dar, die durch Anfragen bei Herstellern, Händlern und Verwertungs- bzw. Entsorgungsunternehmen ermittelt wurden.

Bei den Betrachtungen des Ist-Zustandes sind die Preise, die tatsächlich von den untersuchten Betrieben für Produkte und Leistungen gezahlt wurden, angegeben. Insbesondere bei Lösemitteln und Teilereinigungsanlagen können sich diese Preise unter Umständen erheblich von Listenpreisen unterscheiden, da die Preisvereinbarungen der Hersteller mit den Kunden individuell und von vielen Faktoren abhängig sind.

Die berücksichtigten Kosten und ihre Herleitung sind in Tabelle 0-3 zusammengestellt.

Tab. 0-3: Herleitung der berücksichtigten Kostenarten

Kostenart		Herleitung
Investitions-abhängige Kosten	Abschreibungen	$\frac{\text{Anschaffungswert (DM)}}{\text{Abschreibungszeitraum (a)}}$
	Zinsen	1/2 Anschaffungswert (DM) × Marktzins (%/a)
	Zwischensumme I	
Betriebs-kosten	Personalkosten	Personalbedarf (h/Tag × Tage/a) × spez. Kosten (DM/h)
	Energiekosten	Anschluß- bzw. Heizleistung (kW) × spez. Energiekosten (DM/kWh) × Nutzungszeitraum (h/Tag × Tage/a)
	Instandhaltungs-kosten	Anschaffungswert (DM) × 5 %/a
	Zwischensumme II	
	Betriebsmittelkosten:	
	Beschaffungs-kosten	Einkaufspreis (DM/l oder t oder ...) × Einkaufsmenge (l oder t)
	Entsorgungs-/ Aufbereitungs-kosten	Entsorgungspreis inkl. Transport und evtl. Abfallabgabe (DM/l oder t oder ...) × Reststoffmenge (l oder t oder ...)
	Zwischensumme III	
Summe (Zwischensumme I + Zwischensumme II + Zwischensumme III)		

1 Kostenbetrachtungen zu Betrieb 1

Betrieb 1 (Hersteller von Werkzeugmaschinen und Bearbeitungszentren/Einsatz von halogenfreien Lösemitteln zur Teile- und Gerätereinigung) besitzt eine Vakuum-Destillationsanlage zur Aufarbeitung des anfallenden Verdünners. Folgende Konzepte zur Vermeidung und Verwertung des anfallenden Teilereinigungslösemittels wurden darüber hinaus untersucht:

- betriebsinterne Aufarbeitung in der vorhandenen Destillationsanlage
- externe Aufarbeitung bei einer Lohndestillation
- Rückgabe an den Lieferanten

Die in den Konzepten berücksichtigten Kosten werden in den folgenden Tabellen hergeleitet.

Tab. 1-1: Kosten der Vakuum-Destillationsanlage für die Aufarbeitung des Verdünners (11,4 t/a E2) (zu Kap. 4.2)

Kostenart		**Herleitung**	**Kosten (DM/a)**
Investitions-abhängige Kosten	Abschreibungen	$\frac{100000\ \text{DM}}{10\ \text{Jahre}}$	10 000
	Zinsen	$\frac{1}{2} \times 100\,000\ \text{DM} \times \frac{8\%}{\text{Jahr}}$	4 000
	Zwischensumme I		14 000
Betriebs-kosten	Personalkosten[1]	$0{,}7\,\frac{\text{h}}{\text{Tag}} \times 70\,\frac{\text{Tage}}{\text{Jahr}} \times 60\,\frac{\text{DM}}{\text{h}}$	3 000
	Energiekosten[1]	$4\ \text{kW} \times 0{,}25\,\frac{\text{DM}}{\text{kWh}} \times 6\,\frac{\text{h}}{\text{Tag}} \times 70\,\frac{\text{Tage}}{\text{Jahr}}$	400
	Instandhaltungs-kosten	$100\,000\ \text{DM} \times \frac{5\%}{\text{Jahr}}$	5 000
	Zwischensumme II		8 400
Summe (Zwischensumme I + Zwischensumme II)			22 400

[1] Täglich kann der Inhalt eines 200-l-Fasses (ca. 0,17 t) Verdünner destilliert werden, d. h. für die gesamte jährliche Restmenge von 11,4 t werden ca. 70 Tage zum Destillieren benötigt.

Tab. 1-2: Anteilige Betriebskosten der Vakuum-Destillationsanlage für die Destillation von Teilereinigungslösemittel (6,1 t/a E1) (zu Kap. 5.1.3.1)

Kostenart		Herleitung	Kosten (DM/a)
Betriebs-kosten	Personalkosten[1]	$0{,}7\,\frac{h}{Tag} \times 40\,\frac{Tage}{Jahr} \times 60\,\frac{DM}{h}$	1 700
	Energiekosten[1]	$4\ kW \times 0{,}25\,\frac{DM}{kWh} \times 6\,\frac{h}{Tag} \times 40\,\frac{Tage}{Jahr}$	200
Summe			1 900

[1] Täglich kann der Inhalt eines 200-l-Fasses (ca. 0,17 t) destilliert werden. Für das Lösemittel aus der Teilereinigung wird dementsprechend angenommen, daß für die jährliche Restmenge von 6,1 t ca. 40 Tage zum Destillieren benötigt werden.

Tab. 1-3: Herleitung der Entsorgungs-/Aufbereitungskosten für die Lohndestillation

Kostenart	Spezifische Kosten	Bemerkungen	Absolut (DM/1 000 l)
Destillationskosten[1]	0,80 DM/l	abhängig vom Grad der Verunreinigung zwischen 0,60 und 0,80 DM/l, für die Rechnung wird der höchste Preis gewählt	800 DM
Entsorgungskosten (Reststoffe aus der destillativen Aufbereitung)[1]	0,85 DM/l	–	43 DM
Entsorgungskosten für Fässer[1]	18 DM/Faß	optional: nur falls die Fässer nicht rekonditioniert werden können, für die Rechnung wird angenommen, daß für alle 5 Fässer Entsorgungskosten anfallen	90 DM
Summe	[2]	–	933 DM

[1] Die genannten Preise gelten ab einer Mindestabnahmemenge von 1 000 l (5 Fässer à 200 l). Aus 1 000 l verunreinigtem Lösemittel werden 950 l Rezyklat gewonnen (entsprechend 100 % des enthaltenen Lösemittels). Die übrigen 50 l müssen als Rückstand aus der destillativen Aufbereitung als Sonderabfall entsorgt werden.

[2] Damit ergibt sich ein spezifischer Entsorgungspreis von 0,93 DM/l bzw. 1,20 DM/kg (bei überwiegendem Anteil des leichteren Lösemittels E1a) verunreinigtem Lösemittelgemisch.

2 Kostenbetrachtungen zu Betrieb 2

Im Betrieb 2 (Mittelständischer Hersteller von Spritzpistolen/Einsatz von halogenfreien Lösemitteln zur Teile- und Gerätereinigung) wird das Gerätereinigungslösemittel in einer betriebseigenen Destillationsanlage aufgearbeitet und wiederverwendet. Darüber hinaus wurden folgende Konzepte zur Vermeidung und Verwertung des Teilereinigungslösemittels untersucht:

- Automatisierung der Teilereinigung (und Rückgabe des gebrauchten Lösemittels an den Lieferanten)
- betriebsinterne Aufarbeitung des gebrauchten Lösemittels in einer neu anzuschaffenden Destillationsanlage
- externe Aufarbeitung des gebrauchten Lösemittels bei einem Lohndestillateur

Die in den Konzepten berücksichtigten Kosten werden im folgenden hergeleitet.

Tab. 2-1: Kosten der Destillationsanlage für das Gerätereinigungslösemittel (zu Kap. 4.2.2)

Kostenart		**Herleitung**	**Kosten (DM/a)**
Investitions-abhängige Kosten	Abschreibungen	$\frac{9\,700\ \text{DM}}{5\ \text{Jahre}}$	1 900
	Zinsen	$\frac{1}{2} \times 9\,700\ \text{DM} \times \frac{8\%}{\text{Jahr}}$	400
	Zwischensumme I		2 300
Betriebs-kosten	Personalkosten	$0{,}75\,\frac{\text{h}}{\text{Tag}} \times 240\,\frac{\text{Tage}}{\text{Jahr}} \times 60\,\frac{\text{DM}}{\text{h}}$	10 800
	Energie-kosten	$1{,}84\ \text{kW} \times 0{,}25\,\frac{\text{DM}}{\text{kWh}} \times 4\,\frac{\text{h}}{\text{Tag}} \times 240\,\frac{\text{Tage}}{\text{Jahr}}$	500
	Instandhaltungs-kosten	$9\,700\ \text{DM} \times \frac{5\%}{\text{Jahr}}$	500
	Zwischensumme II		11 800
Summe (Zwischensumme I + Zwischensumme II)			14 100

Tab. 2-2: Kosten der automatischen Reinigungsanlage (zu Kap. 5.1.1)

Kostenart		Herleitung	Kosten (DM/a)
Investitions-abhängige Kosten	Abschreibungen	$\frac{115\,000\ \text{DM}}{10\ \text{Jahre}}$	11 500
	Zinsen	$\frac{1}{2} \times 115\,000\ \text{DM} \times \frac{8\%}{\text{Jahr}}$	4 600
	Zwischensumme I		16 100
Betriebs-kosten	Personalkosten	$2{,}5\,\frac{\text{h}}{\text{Tag}} \times 240\,\frac{\text{Tage}}{\text{Jahr}} \times 60\,\frac{\text{DM}}{\text{h}}$	36 000
	Energiekosten	$(30\ \text{kW} \times 0{,}3\,\frac{\text{h}}{\text{Tag}} + 3\ \text{kW} \times 2{,}5\,\frac{\text{h}}{\text{Tag}}) \times 0{,}25\,\frac{\text{DM}}{\text{kWh}} \times 240\,\frac{\text{Tage}}{\text{Jahr}}$	1 000 [1]
	Instand-haltungskosten	$115\,000\ \text{DM} \times \frac{5\%}{\text{Jahr}}$	5 800
	Zwischensumme II		42 800
Summe (Zwischensumme I + Zwischensumme II)			58 900

[1] tägliche Aufheizzeit: 0,3 h bei 30 kW
tägliche Betriebszeit: 2,5 h bei 3 kW

Tab. 2-3: Kosten der Destillationsanlage für das Teilereinigungslösemittel (zu Kap. 5.1.2)

Kostenart		Herleitung	Kosten (DM/a)
Investitions-abhängige Kosten	Abschreibungen	$\frac{45\,000\ \text{DM}}{10\ \text{Jahre}}$	4 500
	Zinsen	$\frac{1}{2} \times 45\,000\ \text{DM} \times \frac{8\%}{\text{Jahr}}$	1 800
	Zwischensumme I		6 300
Betriebs-kosten	Personalkosten	$0{,}5\,\frac{\text{h}}{\text{Tag}} \times 48\,\frac{\text{Tage}}{\text{Jahr}} \times 60\,\frac{\text{DM}}{\text{h}}$	1 500
	Energiekosten	$4{,}5\ \text{kW} \times 0{,}25\,\frac{\text{DM}}{\text{kWh}} \times 5\,\frac{\text{h}}{\text{Tag}} \times 48\,\frac{\text{Tage}}{\text{Jahr}}$	270
	Instandhaltungs-kosten	$45\,000\ \text{DM} \times \frac{5\%}{\text{Jahr}}$	2 250
	Zwischensumme II		4 000
Summe (Zwischensumme I + Zwischensumme II)			10 300

Tab. 2-4: Herleitung der Entsorgungs-/Aufbereitungskosten für die Lohndestillation

Kostenart	Spezifische Kosten	Bemerkungen	Absolut (DM/1 000 l)
Destillationskosten[1)]	0,80 DM/l	abhängig vom Grad der Verunreinigung zwischen 0,60 und 0,80 DM/l, für die Rechnung wird der höchste Preis gewählt	800 DM
Entsorgungskosten (Reststoffe aus der destillativen Aufbereitung)[1)]	0,85 DM/l	–	255 DM
Entsorgungskosten für Fässer[1)]	18 DM/Faß	optional: nur falls die Fässer nicht rekonditioniert werden können, für die Rechnung wird angenommen, daß für alle 5 Fässer Entsorgungskosten anfallen	90 DM
Summe	[2)]	–	1 145 DM

[1)] Die genannten Preise gelten ab einer Mindestabnahmemenge von 1 000 l (5 Fässer à 200 l). Aus 1 000 l verunreinigtem Lösemittel werden 700 l Rezyklat gewonnen (entsprechend 100 % des enthaltenen Lösemittels). Die übrigen 300 l müssen als Rückstand aus der destillativen Aufbereitung als Sonderabfall entsorgt werden.

[2)] Damit ergibt sich ein spezifischer Entsorgungspreis von 1,15 DM/l bzw. 1,50 DM/kg verunreinigtem Lösemittel.

3 Kostenbetrachtungen zu Betrieb 3

Betrieb 3 (Mittelständischer Hersteller von elektrotechnischen Zulieferteilen und Systemkomponenten/Einsatz von CKW in zentraler Reinigungsanlage) stellt die zentrale Teilereinigung mit CKW auf eine Neuanlage nach dem Stand der Technik um. Für die aus dieser Anlage anfallenden Lösemittelrückstände wurden folgende Verwertungsmöglichkeiten untersucht:

- externe Verwertung (über den Lösemittellieferanten)
- innerbetriebliche Aufarbeitung durch Vakuumdestillation
- innerbetriebliche Aufarbeitung durch Lösemittelabtrennung

In den folgenden Tabellen werden die investitionsabhängigen Kosten für die Vakuum-Destillationsanlage und für die Lösemittelabtrennanlage hergeleitet.

Tab. 3-1: Kosten der Vakuum-Destillationsanlage (zu Kap. 5.2.1)

Kostenart		**Herleitung**	**Kosten (DM/a)**
Investitions-abhängige Kosten	Abschreibungen	$\frac{110\,000\ \text{DM}}{10\ \text{Jahre}}$	11 000
	Zinsen	$\frac{1}{2} \times 110\,000\ \text{DM} \times \frac{8\%}{\text{Jahr}}$	4 400
	Zwischensumme I		15 400
Betriebs-kosten	Personalkosten	kein zusätzlicher Personalaufwand im Vergleich zu den anderen Varianten	–
	Energiekosten	$4\ \text{kW} \times 0{,}25\ \frac{\text{DM}}{\text{kWh}} \times 80\ \frac{\text{h}}{\text{Jahr}}$	100
	Instandhaltungs-kosten	$110\,000\ \text{DM} \times \frac{5\%}{\text{Jahr}}$	5 500
	Zwischensumme II		5 600
Summe (Zwischensumme I + Zwischensumme II)			21 000

Tab. 3-2: Kosten der Anlage zur Lösemittelabtrennung (zu Kap. 5.2.2)

Kostenart		**Herleitung**	**Kosten (DM/a)**
Investitions-abhängige Kosten	Abschreibungen	$\frac{95\,000\ \text{DM}}{10\ \text{Jahre}}$	9 500
	Zinsen	$\frac{1}{2} \times 95\,000\ \text{DM} \times \frac{8\%}{\text{Jahr}}$	3 800
	Zwischensumme I		13 300
Betriebs-kosten	Personalkosten	kein zusätzlicher Personalaufwand im Vergleich zu den anderen Varianten	–
	Energiekosten	0,4 kWh/l × 0,25 DM/kWh × 1200 l/a	120
	Instandhaltungs-kosten	$95\,000\ \text{DM} \times \frac{5\%}{\text{Jahr}}$	4 750
	Zwischensumme II		4 870
Summe (Zwischensumme I + Zwischensumme II)			18 170

4 Kostenbetrachtungen zu Betrieb 4

Im Betrieb 4 (Handwerksbetrieb/Einsatz von halogenfreien Lösemitteln zur Gerätereinigung vor der Reparatur) wurde ein Konzept zur Kreislaufführung des Lösemittels (Kap. 4) auf seine Wirtschaftlichkeit hin untersucht. Die darin berücksichtigten Kosten werden im folgenden hergeleitet.

Tab. 4-1: Kosten für den Kauf eines Waschtisches (zu Kap. 4)

Kostenart		**Herleitung**	**Kosten (DM/a)**
Investitions-abhängige Kosten	Abschreibungen	$\frac{1\,500\ \text{DM}}{5\ \text{Jahre}}$	300
	Zinsen	$\frac{1}{2} \times 1\,500\ \text{DM} \times \frac{8\%}{\text{Jahr}}$	60
	Zwischensumme I		360
Betriebs-kosten	Personalkosten	werden nicht betrachtet, da sie gegenüber manueller Reinigung gleich bleiben	–
	Energiekosten[1)]	–	–
	Instandhaltungs-kosten	$1\,500\ \text{DM} \times \frac{5\%}{\text{Jahr}}$	75
	Zwischensumme II		75
Summe (Zwischensumme I + Zwischensumme II)			435

[1)] Für die Energiekosten (Pumpe) wird ein zu vernachlässigender Betrag von 3 DM angenommen.

Tab. 4-2: Kosten der Teile-Waschanlage und ihre Herleitung

Kostenart		**Herleitung**	**Kosten (DM/a)**
Investitions-abhängige Kosten	Abschreibungen	$\frac{5\,000\ \text{DM}}{5\ \text{Jahre}}$	1 000
	Zinsen	$\frac{1}{2} \times 5\,000\ \text{DM} \times \frac{8\%}{\text{Jahr}}$	200
	Zwischensumme I		1 200
Betriebs-kosten	Personalkosten	werden nicht betrachtet, da sie gegenüber manueller Reinigung gleich bleiben	–
	Energiekosten	$0{,}6\ \text{kW} \times 0{,}2\frac{\text{h}}{\text{Teil}} \times 0{,}25\frac{\text{DM}}{\text{kWh}} \times 200\frac{\text{Teile}}{\text{Jahr}}$	6
	Instandhaltungs-kosten	$5\,000\ \text{DM} \times \frac{5\%}{\text{Jahr}}$	250
	Zwischensumme II		256
Summe (Zwischensumme I + Zwischensumme II)			ca. 1 500

Literaturhinweise zu wäßrigen Reinigungsverfahren

G. Burgbacher, R. Hermann: HKW-freie Reinigungsverfahren – Leitfaden zur Substitution halogenierter Kohlenwasserstoffe in der industriellen Teilereinigung. ecomed verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, Landsberg 1993.

T. Daiber: Standzeitverlängerung von wäßrigen Reinigungsbädern. JOT 1993/5, S. 66–69.

M. Dusek: Reinigen mit Zentrifuge. JOT 1994/4, S. 72.

A. Eberle, H. Kohler: Recyclingsysteme für wäßrige Reinigungsanlagen – Modellierung und Auslegung einer Ultrafiltrationsanlage. Metalloberfläche 44 (1990) 10, S. 481–484.

K. Göbert, J. Götz: Wäßrige Reinigung – abwasserfrei und abfallarm. JOT 1984/3, S. 44–49.

J. Götz: Recofloat-Verfahren – Neuer Weg zur Standzeitverlängerung von wäßrigen Entfettungsmedien. UTA 1993/6.

R. Grün, U. Kunz, K. Brunn: Umstellen auf umweltfreundliche Reinigungssysteme. JOT 1992/11, S. 64–66.

G. Moncorgé, G. Pasal: Effektive Regeneration alkalischer Entfettungsbäder. JOT 1992/11, S. 56–58

L. Hartinger: Handbuch der Abwasser- und Recyclingtechnik. Carl Hanser Verlag, München – Wien, 2. Auflage 1991.

R. Hellstern: HKW-Emissionsminderung – Teilvorhaben 4: Substitution von Chlorkohlenwasserstoffen durch wäßrige Reinigungsanlagen. BMFT-Forschungsbericht FB 01 ZH 88067, 1991.

A. Kiechle: Methoden der Standzeitverlängerung wäßriger Reiniger. JOT 1991/9.

U. Lachenmayer, H. v. Krempelhuber: Industrielle Teilereinigung: Auswahl und Bewertung von Verfahrenskonzepten mit der statistischen Versuchsmethodik. Metalloberfläche 48 (1994) 5, S. 300–306.

F. Oortmann: Teilereinigung für kleinere Unternehmen. JOT 1994/3, S. 56–58.

K. Schmidt: Teilereinigung vor einer Oberflächenbehandlung, Teil 7. Galvanotechnik 84, 1993/8, S. 2641–2644.

K. Schmidt: Reinigen mit wäßrigen Medien: Bad-Standzeiten verlängern. Metalloberfläche 48 (1994) 4, S. 221–226.

L. Schneider: Alkalische Entfettungen optimal recyceln. JOT 1993/6, S. 40–41.