

**AiF-Abschlußbericht**

Vorhaben 9563 N

**“Aufbereitung von wäßrigen  
Reststoffen mit integrierter  
Spanentölung”**

AiF-Abschlußbericht

**Aufbereitung von wäßrigen Reststoffen  
mit integrierter Spanentölung**

AiF-Forschungsvorhaben-Nr.: 70: 9563 N

Berichtszeitraum: 01.07.1993 - 30.09.1995

Forschungsstelle:

Institut für Umwelttechnologie und Umweltanalytik e.V. (IUTA),  
Duisburg-Rheinhausen

Projektleiter:

Prof. Dr.-Ing. K. G. Schmidt

Duisburg, den 25.04.1996

# INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
<b>1. Wissenschaftliche Problemstellung</b>	<b>1</b>
<b>2. Stand der Forschung und Technik</b>	<b>2</b>
<b>3. Forschungsziel</b>	<b>3</b>
<b>4. Forschungsergebnisse</b>	<b>4</b>
4.1 Bestimmung des Ölgehaltes auf den Spänen	4
4.2 Grundlagen der Spanentölung	6
4.3 Betrieb der semikontinuierlichen Anlage im halbtechnischen Maßstab	8
4.3.1 Aufbau, Betrieb und Optimierung der Vakuumverdampfungsanlage	9
4.3.2 Durchführung der Technikumsversuche	12
4.3.3 Stoffströme Reindestillat/Waschwasser zur kombinierten Betriebsweise	18
4.3.4 Destillatqualität	19
4.3.5 Sumpfqualität	20
4.3.6 Korrosionsverhalten / Spänetrocknung	21
4.4 Massenbilanz / Energiebilanz / Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	22
<b>5. Anwendung und wirtschaftliche Bedeutung</b>	<b>25</b>
<b>6. Zusammenfassung</b>	<b>26</b>
<b>7. Ausblick</b>	<b>27</b>
<b>8. Literaturverzeichnis</b>	<b>29</b>

**Anhang**

AiF-Mitgliedsvereinigung: Umwelttechnologie

AiF-Nr.: 70: 9563 N

## **Aufbereitung von wäßrigen Reststoffen mit integrierter Spanentölung**

### **Abschlußbericht**

#### **1. Wissenschaftliche Problemstellung**

In der metallverarbeitenden Industrie fallen öl- und fetthaltige wäßrige Reststoffe in Form von Kühlschmierstoffen (KSS), Entfettungsabwässern etc. an. Des weiteren werden in Fertigungsbetrieben öl- und schmutzbehaftete Metallspäne gesammelt, die an Verwertungsbetriebe abgegeben werden. Vor dem Recycling der Späne, z.B. in Schmelzen, ist es notwendig, die Anhaftungen zu entfernen.

Gebrauchte Kühlschmierstoffe aus der metallverarbeitenden Industrie unterliegen, wie alle Schmierstoffe, der Abfallgesetzgebung. Der Verbrauch liegt in der Bundesrepublik Deutschland bei ca. 30 000 t Öle pro Jahr. Wassergemischte KSS enthalten in der Regel 5 - 10 % Kohlenwasserstoffe, Ester, Polyglykolene oder Gemische dieser Verbindungen /1/. Diese Menge ist verglichen mit dem Gesamtschmierstoffverbrauch relativ gering; 1989 betrug dieser Anteil knapp 3 % /2/. Mit Wasser gemischt ergeben sich jedoch ca. 1 Mio. t KSS, die von der arbeitsschutz- und entsorgungstechnischen Seite bedeutsam sind. Die Aufbereitung dieser KSS und weiterer ölhaltiger wäßriger Reststoffe ist zur Verminderung des Abfallaufkommens geboten.

In der spanabhebenden Bearbeitung werden die Späne mit Kühlschmierstoffen verunreinigt und können häufig nicht ohne weitere Reinigung in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden /3/. Dementsprechend werden sie an Spezialfirmen (Schrotthändler) zur Verwertung abgegeben. Die Verarbeitung von Nichteisenmetallspänen, z.B. in Metallschmelzen, verlangt die Abreinigung der KSS. Das Öl kann bei der Wiedereinschmelzung der Späne zu Verpuffungen führen, was Störungen der Abgasreinigung zur Folge hat. Zudem können strengere Emissionsgrenzwerte bei der Stahlherstellung erwartet werden. Deshalb ist es notwendig, auch Metallspäne aus Stahl etc. von Anhaftungen zu reinigen, bevor sie verwertet werden. Des weiteren kann die Entölung der Metallspäne am Ort der Erzeugung notwendig sein, da die Anforderungen des Gewässerschutzes an die Lagerung der Späne gestiegen sind. Verfahren der Spanentölung, die die anhaftenden Öle mit vertretbarem Aufwand zurückgewinnen und die Späne zum Wiedereinsatz vorbereiten, werden in Zukunft bevorzugt.

Die Verfahren zur Reduzierung des zu entsorgenden Volumens von wäßrigen Reststoffen und zur Spanentölung sind kostenintensiv. Durch die immer strenger werdende Umweltgesetzgebung ist jeder Betrieb angehalten, sein Abfallaufkommen zu minimieren und Reststoffe nach Möglichkeit selbst wieder in den Wirtschaftskreislauf zurückzuführen.

Ausgehend von diesen Randbedingungen wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem es möglich ist, Metallspäne zu entölen und gebrauchte Kühlschmierstoffe gemeinsam mit anderen, mit organischen Verbindungen verunreinigten Wässern wie z.B. Gleitschliff- und Waschabwässer, vor Ort aufzuarbeiten. Die flüssigen Reststoffe werden destillativ getrennt und die Metallspäne durch heiße Brüden, die im Teilstrom entnommen werden, von anhaftenden Schmutz- und Schmierstoffen befreit.

## **2. Stand der Forschung und Technik**

Bisher werden gebrauchte KSS und mit organischen Stoffen behaftete Abwässer sowie mit KSS versetzte Metallspäne als zwei getrennte Entsorgungsprobleme betrachtet. Demgemäß gibt es für beide Aufbereitungsarbeiten spezifische Verfahren und Anlagen.

Eine deutliche Reduzierung des Reststoffvolumens ergibt sich durch bekannte Methoden zur Abtrennung des Wassers. Dabei kommen zur Aufbereitung wassergemischter KSS mechanische, thermische und chemische Verfahren sowie deren Kombinationen in Frage. Genannt seien hier Ultrafiltrations- und Destillationsverfahren sowie Fällungs-/ Flockungs-/Flotations-Methoden /2,4/. Die aus diesen bekannten Trennverfahren gewonnene Wasserphase erfüllt nach eventueller Weiterbehandlung die Einleitbedingungen oder kann wieder in den Prozeß zurückgeführt werden, z.B. zum Neuansatz von KSS. Die aufkonzentrierte, ölhaltige Phase muß, gegebenfalls nach einem weiterem Aufarbeitungsschritt, entsorgt werden.

Eine kombinierte Aufarbeitung von Kühlschmierstoffen und verschmutzten Abwässer in metallverarbeitenden Betrieben wird derzeit mit Erfolg mittels Vakuumverdampfungsanlagen durchgeführt /5,6/. Dabei dient das abgedampfte Wasser zum Ansetzen neuer KSS, wodurch die Bereitstellung von destilliertem Wasser entfallen kann. Das überdestillierte Wasser kann aber auch je nach Einsatzstoff ohne weitere Aufbereitung in den Vorfluter eingeleitet werden. Dazu sind das Wasserhaushaltsgesetz, die Rahmen-Abwasser-Verwaltungsvorschrift sowie die zur Zeit noch geltenden Einleitgrenzwerte der Länder, Gemeinden und Abwasserverbände bei indirekter Einleitung zu beachten. Die kostenintensiven als "Besonders überwachungsbedürftige Abfälle"

zu entsorgenden Anteile betragen nach der Aufarbeitung unter 10 % des ursprünglichen Volumens.

Metallspäne sollten vor dem Einschmelzen aus Gründen der Produktqualität, der Prozeßführung und der Emission gasförmiger Bestandteile entölt werden. Aufwendige Aufbereitungsschritte sind insbesondere bei hochwertigen Metallspänen, beispielsweise aus Buntmetallen, lohnend.

Die Spanentölung kann in gewissem Ausmaß durch Zentrifugieren erfolgen /3/. Der erhaltene KSS wird entweder direkt wieder in der Fertigung eingesetzt oder einem Reinigungsprozeß zugeführt. Stark verunreinigte Kühlschmierstoffe werden entsorgt. Die teilentölte Späne gelangen in den Wirtschaftskreislauf zurück.

Es ist darüberhinaus bekannt, Metallspäne durch thermische Verfahren aufzubereiten. Hierbei werden z.B. Aluminiumspäne in eine Trockentrommel eingebracht und getrocknet /7/. Die entstehenden Abgase werden in den Brenner zurückgeführt und verbrannt, wodurch ein Teil der Primärenergie eingespart wird. Nachteilig bei diesem Verfahren ist, daß die Abgase einer Reinigung bedürfen.

Die Reinigung verschmutzter Metallspäne ist in der Regel nicht in das betriebliche Entsorgungskonzept eingebunden, sondern wird geeigneten Firmen u.a. aus dem Bereich des Schrotthandels überlassen. Dadurch wird ein zu erzielender Erlös für den Spänerzeuger gemindert. Diese Reinigung beschränkt sich aber oftmals auf das relativ unkontrollierte Bewittern der Späne auf den Lagerplätzen des Metallschrotthandels. Zudem sind nicht alle Plätze entsprechend den Anforderungen des Gewässerschutzes befestigt und mit einer angemessenen Abwasseraufbereitung ausgestattet /8/.

Bisher ist die apparative Kombination der destillativen Aufarbeitung von KSS und belastetem Betriebsabwasser mit einer Spanentölung nicht bekannt.

### **3. Forschungsziel**

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die Grundlagen für die gemeinsame Aufbereitung im geschlossenen Prozeß von gebrauchten Kühlschmierstoffen, öl- und fetthaltigen Abwässern und von Metallspänen zu erarbeiten. Ausgangspunkt ist die destillative Trennung der wäßrigen Emulsionen. Die Späne werden durch den mit KSS erzeugten heißen Brüdenstrom aufbereitet. Das dann verschmutzte Destillat wird wieder in die Destillation zurückgeführt. Der

Reinigungsprozeß kommt ohne Frischwassereinsatz aus. Zum Zwecke der energetisch günstigen Prozeßführung wird die Destillation als Vakuumdestillation ausgeführt.

Eine semikontinuierlich betriebene Reinigungsanlage mit einem mittleren Durchsatz in der Größenordnung von 500 Liter Flüssigkeit pro Tag wird aufgebaut. Die Anlage ist konstruktiv so gestaltet, daß zwei Reinigungskörbe alternierend in den Waschkreislauf geschaltet werden.

Folgende Anforderungen soll die Technikumsanlage erfüllen:

- ausreichende Entölung der Späne
- möglichst geringer Zusatz an Additiven (Waschzusatz und Entschäumer)
- möglichst weitgehende Volumenreduzierung des zu entsorgenden Verdampfungssumpfes
- möglichst geringer Energiebedarf

Aufgrund der Erfahrungen mit der Anlage wird die konstruktive Ausführung der Reinigungsbehälter für den Einsatz im metallverarbeitenden Betrieb angepaßt.

Die Eignung des Reindestillats zum Neuansatz von KSS, zur Verwendung als Brauchwasser bzw. zur Erfüllung der Einleitgrenzwerte wird überprüft.

Die wirtschaftliche Betrachtung des Verfahrens anhand einer Kosten/Nutzen-Rechnung rundet das Forschungsprojekt ab.

#### **4. Forschungsergebnisse**

Das Forschungsvorhaben wurde in zwei Phasen unterteilt. Zunächst wurden im Labormaßstab die Grundlagen zur Spanentölung mit Wasser als Waschmedium ermittelt. Die hier erhaltenen Erkenntnisse wurden in der zweiten Phase in eine Technikumsanlage mit semikontinuierlichem Betrieb umgesetzt.

##### **4.1 Bestimmung des Ölgehaltes auf den Spänen**

Im Rahmen der Projektarbeiten war es notwendig, den Ölgehalt der Späne sowohl vor als auch nach der Reinigung zu bestimmen. Hierzu wurden verschiedene Analyseverfahren herangezogen.

Zur Bestimmung der Flüssigkeitsanteile auf den Spänen bieten sich zwei einfache Methoden an. In erster Näherung kann zunächst der Wassergehalt der Späne über eine Trockenrückstandsbestimmung (105°C, 2h) nach DIN 38414 abgeschätzt werden. Ölbestandteile mit höheren Siedepunkten als Wasser bleiben weitgehend auf der Spanoberfläche haften. Die gesamte Beladung der Späne mit Flüssigkeit kann durch den Gewichtsverlust nach der Extraktion mit einem organischen Lösemittel, welches neben Öl auch Wasser aufnimmt, und anschließender Trocknung ermittelt werden. Aus der Differenz beider Bestimmungen kann auf den Ölgehalt der Späneprobe geschlossen werden. Diese Vorgehensweise hat den Nachteil, daß keinerlei Informationen über die Zusammensetzung des Öls und über die Verunreinigung durch die evt. zugegebenen waschaktiven Substanzen erhalten werden.

Eine weitere Möglichkeit, den Ölgehalt der Späne zu bestimmen, ist das Verfahren nach DIN 38409 H18 aus dem Bereich der Wasseranalytik. Den Proben wird hierbei zunächst Natriumsulfat zugesetzt und durch Verreiben die Flüssigkeit gebunden. Anschließend erfolgt eine Kaltextraktion mit 1,1,2-Trichlortrifluorethan. Die Verwendung dieses Extraktionsmittels ist günstig, da es keine CH-Bindungen besitzt und gegenüber dem früher verwendeten Tetrachlorkohlenstoff als nicht krebsfördernd eingestuft ist. Nach der Extraktion der Späne werden die polaren Substanzen über Aluminiumoxid abgetrennt und der Extrakt zweckmäßigerweise mit einem FTIR-Spektrometer analysiert. Gemessen werden die Extinktionen bei  $2924\text{ cm}^{-1}$  (CH-Valenzschwingung -C-CH<sub>2</sub>), bei  $2959\text{ cm}^{-1}$  (CH-Valenzschwingung -C-CH<sub>3</sub>) und bei  $3030\text{ cm}^{-1}$  (aromatische CH-Bande). Dabei ist entsprechend dem Verhältnis der einzelnen Extinktionen unter günstigen Voraussetzungen eine Zuordnung der Stoffgruppen möglich. Diese Zuordnung ist jedoch sehr vage. Speziell bei Gemischen, wie sie die Kühlschmierstoffe darstellen, ist es mit dieser Methode nicht möglich, Inhaltsstoffe zu unterscheiden /9/.

Um Aussagen über die Zusammensetzung der Kühlschmierstoffe bzw. deren Veränderung durch die Vakuumeindampfung treffen zu können, wurde im IUTA eine gaschromatographische Methode entwickelt. Verwendet wurde ein Gaschromatograph (GC) mit Flammenionisationsdetektor (FID) von Shimadzu (Analysenbedingungen siehe Anhang). Dazu wird die Späneprobe mit einem Lösemittel, in der Regel Aceton, kalt extrahiert und ein Teil des Extraktes unverdünnt in den GC injiziert. Die Auswertung der Chromatogramme erfolgt mit Hilfe der Methode des Internen Standards. Hierzu wird vor der Injektion dem Extrakt eine definierte Menge Standard (z. B. Toluol) zugegeben. Über das Verhältnis der Peakflächen von Toluol zu den Kühlschmierstoffinhaltsstoffen kann auf den Gehalt an Kühlschmierstoffen geschlossen werden. Des weiteren kann der Anteil an Waschzusätzen bzw. Schauminhibitoren in den Proben abgeschätzt werden. Ein Beispiel-Chromatogramm für einen wassergemischten Kühlschmierstoff ist in Bild 1 gezeigt. Durch Verwendung des Original-K Kühlschmierstoffes als externen Standard



konnten die Analysenergebnisse mittels GC/FID überprüft und bewertet werden. Alternativ dazu ist in Bild 2 ein IR-Spektrum eines wassergemischten KSS dargestellt, welches in Anlehnung an DIN 38409 H 18 bestimmt worden ist.

Die Analysen mittels GC/FID stimmen oftmals nicht mit den Ergebnissen nach DIN 38409 H18 überein. Der Grund hierfür ist sicherlich, daß mit der IR-Spektrometrie nicht alle Kohlenwasserstoffe erfaßt werden. Zur Beurteilung des Reinigungswirkungsgrades ist die vergleichende Aussage vor und nach der Reinigung aber auch mit der IR-Spektroskopie aussagefähig. (Da erst im Laufe des Projektes die GC/FID-Analytik aufgebaut worden ist, mußten die Ergebnisse zu Beginn mit der im IUTA bereits bestehenden Analytik in Anlehnung an DIN 38409 H18 bestimmt werden.)

#### **4.2 Grundlagen der Spanentölung**

Die Grundlagen der Spanentölung mit wäßrigen Medien wurden in der ersten Projektphase im Rahmen von Laborversuchen erarbeitet. Die Versuchsspäne wurden hierzu über einen Siebboden in einer Reinigungskolonnen von oben nach unten mit heißem Wasser bzw. mit Wasserdampf gereinigt. Der Aufbau der Laborapparatur wird in Bild 3 gezeigt.

Um erste Kenntnisse über die Reinigungsleistung zu erhalten, wurden bei den Laborversuchen unterschiedliche Wassertemperaturen und Wassermengen bei ein- und mehrstufiger Ausführung eingestellt. Die Einstellung unterschiedlicher Waschwassertemperaturen erfolgte über eine entsprechende Temperierung des Wärmetauschers. Unterschiedliche Versuchszeiten ermöglichten bei festgelegter Verdampfungsrate im Vorlagebehälter entsprechende Waschwassermengen. Bei Reinigungsversuchen mittels Dampf wurde die Anordnung des Wärmetauschers und der Späneschüttung in Bild 3 vertauscht.

Zur Erhöhung der Reinigungsleistung wurden des weiteren diverse Tenside vor Beginn der Reinigung auf die Späneschüttung aufgegeben.

Für die Laborversuche wurden zunächst 4 Spänesorten näher betrachtet. Bild 4 gibt hierzu einen Überblick bezüglich der Schüttdichten und der Ölgehalte. Die dort angegebenen Ölgehalte wurden mittels IR-Spektrometrie nach DIN 38409 H 18 bestimmt. Für die Versuche in der Laborapparatur wurden dann die Sorten Frässpäne I sowie Sägespäne II und III herangezogen.

Die Angaben des Reinigungswirkungsgrades beziehen sich auf folgendes Verhältnis der Ölgehalte der Späne vor und nach der Reinigung:

$$\text{Reinigungswirkungsgrad} = \frac{c_{\text{Öl,vor}} - c_{\text{Öl,nach}}}{c_{\text{Öl,vor}}} * 100 \quad [\%]$$

$c_{\text{Öl,vor}}$  : Ölgehalt der Späne vor der Reinigung in Gew.%

$c_{\text{Öl,nach}}$  : Ölgehalt der Späne nach der Reinigung in Gew.%

Die ersten Versuche lassen folgende Aussagen zu (Bild 5):

- Der Einsatz von heißem Wasser mit ca. 65°C reinigt die Frässpäne I zu 93 %.
- Der Einsatz von Dampf steigert den Reinigungswirkungsgrad (Sorte III von 41 auf 51%).
- Der Zusatz von Tensiden unterstützt die Reinigungswirkung.
- Durch eine zweistufige Abreinigung ergibt sich eine Reinigungssteigerung.
- Ein signifikanter Einfluß der Waschwassertemperatur auf das Reinigungsergebnis war nicht nachzuweisen.
- Ein Einfluß der Spanform auf die Reinigungsleistung ist erkennbar: Wenn die Schüttdichte als grobes Maß für die freie Oberfläche angenommen wird, ist festzustellen, daß mit größerer Schüttdichte, also mit größerer Oberfläche, die Abreinigung bei gegebenem Waschwassereinsatz unvollständiger ist (vgl. Sorte II und III).

Restölgehalte der emulsionsbehafteten Späne von 0,1 bis 1,5 Gew.% sind in Abhängigkeit der Spansorte und Ausgangsbeladung erreichbar, entsprechend des Reinigungswirkungsgrades von 40 bis 96 %. Als herausragendes Ergebnis konnten emulsionsbehaftete Späne bei einstufiger Wäsche mit einer Tensidzugabe von 2,5 g/kg Späne und einem Dampfverbrauch von 0,5 kg/kg Späne in der Laborapparatur zu etwa 96 % vom Öl befreit werden. Dieses Ergebnis basiert auf der Analytik mittels IR-Spektrometrie.

Auf ihre Eignung als Waschzusätze wurden zunächst marktübliche Tenside aus dem Bereich der Metallentfettung getestet. Die eingesetzten Tenside waren zunächst Reinigungsmittel mit neutralem pH-Wert, um den Wiedereinsatz der Wasserphase zu gewährleisten. Der Vergleich der Wirksamkeit der Tenside erfolgte bei konstanten Bedingungen (Waschwassertemperatur 60°C, Waschwassereinsatz 2,5 kg Wasser/kg Späne, Tensidzugabe 1,25 Gew.% (bzgl. auf Späne)).

Tensidzusatz	Reinigungswirkungsgrad
P3-neutrapon 5088	39 %
handelsübliches Geschirrspülmittel	58 %
P3-ferrolin 8648	52 %
P3-ferrolin 8643	65 %
RM 555 profi	27 %

Tabelle 3: Tensidauswahl bei konstanten Bedingungen

Bei den P3-Tensiden handelt es sich um Produkte der Firma Henkel. Das Produkt "RM 555 profi" stammt von der Firma Kärcher.

Anhand der Ergebnisse der Laborversuche konnte das wirkungsvollste Tensid ausgewählt werden. Hierbei handelt es sich um das Produkt P3-ferrolin 8643, welches zu über 80 % aus Fettalkoholethoxylaten besteht. Diese Verbindungsgruppe wurde bereits im Zuge der Antragsstellung aufgrund des erwarteten schaumarmen Verhaltens bei der Destillation von Schmutzwasser näher ins Auge gefaßt. Die Optimierung der Dosierung zur Steigerung der Reinigungsleistung wurde im Verlauf der Technikumsversuche durchgeführt.

Die Schaumbildung in der Laborapparatur ist bei der Destillation von ölhaltigem Abwasser minimal. Selbst bei der Eindampfung der tensidhaltigen Spänewaschwässer kann keine nennenswerte Schaumbildung beobachtet werden. Daher konnte mittels Laborapparatur keine Entschäumerauswahl durchgeführt werden. Aus den Analyseergebnissen der Laborversuche geht hervor, daß das Destillat zum Neuansatz von Kühlschmierstoffemulsionen prinzipiell geeignet ist. Die festgestellten Ölgehalte liegen im Bereich von 100 - 700 mg/l Destillat. Sicherlich wäre vor der Einleitung ins Abwasserkanalnetz ein weiterer Reinigungsschritt notwendig. Versuche mit Brüden aus der Eindampfung wäßriger Reststoffe ergeben keine erkennbaren Unterschiede zu Reinigungsergebnissen mit reinem Wasser oder Wasserdampf. Die Laborphase wurde Anfang 1994 abgeschlossen.

#### 4.3 Betrieb einer semikontinuierlichen Anlage im halbtechnischen Maßstab

Der Aufbau der Technikumsanlage wurde gemäß Zeitplan Mitte 1994 beendet. Die aus Projektmitteln beschaffte Vakuumdestillationsanlage wurde entsprechend den Anforderungen modifiziert und mit Reinigungsbehältern ausgerüstet. Mit den Erkenntnissen aus der Laborphase

wurden Versuche im halbtechnischen Maßstab durchgeführt. Die Technikumsanlage besteht prinzipiell aus zwei Baugruppen, dem Vakuumverdampfer und der Reinigungseinheit. Für die Versuche wurde die Reinigungseinheit aus zwei geschlossenen, übereinander angeordneten Waschbehältern aufgebaut, die mit Wasserdampf bzw. heißem Wasser durchspült werden (Bild 6).

#### **4.3.1 Aufbau, Betrieb und Optimierung der Vakuumverdampfungsanlage**

Bei der im Rahmen des Projektes eingesetzten Wasseraufbereitungsanlage handelt es sich um die Vakuumverdampfungsanlage "Vacudest 30" der Mannesmann Demag Wittig Verdichter GmbH aus Schopfheim. Diese Anlage ermöglicht die energiesparende und wirtschaftliche Eindampfung der ölethaltenden betrieblichen Abwässer sowie des Spänewaschwassers. Die Anlage arbeitet ohne Zusatzheizung und spart durch die Brüdenverdichtung sowie die Ausnutzung der Kondensationsenergie zur Beheizung bis zu 80 % der Energie gegenüber herkömmlichen Verfahren.

Die Vacudest besteht im wesentlichen aus folgenden Komponenten (Bild 6):

- Verdampfer/Kondensator mit integriertem Fliehkraftabscheider, wobei der Kondensator als liegendes, eingeschobenes Rohrbündel im Verdampfersumpf ausgeführt ist
- Wälzkolbenvakuumpumpe als Brüdenverdichter, angetrieben über Keilriemen mittels Drehstrommotor
- Destillatvorlage
- Rekuperator
- Entschäumerdosiereinheit

Die gesamte Anlage ist als Kompaktaggregat ausgeführt, auf einer Bodenwanne aus verzinktem Stahlblech aufgebaut und komplett mit einer Schallschutzhaube gekapselt. Der Schalt- und Steuerschrank ist in die Anlage integriert.

##### *Funktionsweise der Verdampfungsanlage*

Die Schmutzware wird über ein Füllventil mittels Vakuum in den Verdampfer eingesaugt. Das abfließende Destillat wärmt die Schmutzware im Rekuperator vor und wird dadurch abgekühlt. Im Verdampfer wird das Wasser unter Vakuum (ca. 400 -500 mbar Unterdruck) verdampft und

im Brüdenverdichter auf Atmosphärendruck verdichtet. Aufgrund des erniedrigten Druckes im Verdampfer erfolgt die Verdampfung bei entsprechend niedriger Temperatur (80-90°C). Die Kondensation erfolgt jedoch bei höherem Druck und somit bei höherer Temperatur. Die freiwerdende Kondensationsenergie wird wieder zum Beheizen bzw. Verdampfen der Schmutzware verwendet. Der Energiekreislauf ist somit geschlossen. Lediglich die geringere Antriebsenergie des Brüdenverdichters wird benötigt. Eine Anfahrheizung ist nicht vorhanden.

Die Anlage arbeitet in vier Betriebsweisen:

- Füllen
- Destillieren
- Ablassen
- Trockenlauf

Durch Abdampfen des Destillats und Nachfüllen der Schmutzware steigt die Schmutzkonzentration im Verdampfer beim Betrieb der Anlage stetig an und die Destillatleistung geht entsprechend zurück. Der Zeitpunkt des Ausförderns wird wahlweise über eine Temperaturerhöhung des Destillats oder zeitabhängig angesteuert. Nach Abschalten der Anlage findet ein Trockenlauf des Brüdenverdichters zum Schutz vor Korrosion durch zurückbleibendes Wasser statt.

Beim Eindampfen von Schmutzware, die zu Schaumbildung neigt, kann über den automatischen Entschäumereinzug die Schaumbildung im Verdampfer erheblich reduziert werden. Bei jedem Neubefüllen der Anlage, d.h. beim erstmaligen Anfahren mit leerem Verdampfer oder beim Befüllen nach Ablassen des Rückstandes, wird eine bestimmte Menge des Entschäumers, gesteuert über ein einstellbares Zeitrelais, eingezogen.

### *Optimierung der Verdampfungsanlage*

Die im IUTA aufgebaute Verdampfungsanlage wurde modifiziert, so daß eine Wassermenge von ca. 50 l/h mit 60°C zu Reinigungszwecken zur Verfügung steht. Die Herstellerangabe beläuft sich auf ca. 35 l/h. Diese Leistungserhöhung wurde im wesentlichen durch eine gezielte Isolierung der "heißen" Bauteile der Anlage möglich. Der Aufbau der Anlage konnte hierbei insofern verbessert werden, daß eine Aufteilung in einen Heiß- und einen Kaltraum vorgenommen wurde. Bei der im IUTA betriebenen Anlage wird zum Schutz des Motors vor Überhitzung der gesamte Raum mittels eines Ventilators gekühlt. Nachteilig ist, daß somit auch der Verdampfungsprozeß gekühlt

wird. Falls der Motor konstruktionsbedingt in einem separaten gekühlten Raum untergebracht wird, wird der eigentliche Verdampfungsprozeß nicht mehr beeinflusst. Auf den Einsatz des Ventilators kann zudem verzichtet werden.

Bei der Ausführung einer praxisgerechten Anlage muß bei reinem Spänereinigungsbetrieb der Destillatkühler in der Baugröße entsprechend angepaßt werden, weil das zurückgeführte Washwasser in der Regel mindestens 30 oder 40 °C über den Feedtemperatur-Auslegungswerten der Vacudest-Anlage liegt. Durch einen größeren Destillatkühler kann eine optimale Wärmenutzung des zurückgeführten Washwassers gewährleistet werden. Darüberhinaus kann ein Teil der Wärmeenergie zu Trocknungszwecken der nassen gereinigten Späne verwendet werden.

Im Rahmen der Versuche im IUTA wurde die Steuerung des Sumpfablasses in der Regel manuell durchgeführt. Dies war aufgrund der bei den Versuchen eingestellten unterschiedlichen Ölkonzentrationen im Feed notwendig. Bei reinem Spänereinigungsbetrieb sind die Ölbelastungen des Washwasser teilweise so gering, daß sich eine Ablaßzeit von mehreren Stunden bis zu einem Tag ergibt.

Die Dosierung von Schauminhibitoren stellte sich im Verlauf der Untersuchungen als ungünstig heraus. Der Einzug des Entschäumers bei Befüllen des Verdampfers ist bei stark schwankender Feedzusammensetzung, wie sie im Rahmen des Projektes bewußt eingestellt wurde, nicht problemgerecht. Zum einen wird präventiv einer möglichen Schaumbildung entgegengewirkt, obwohl noch keine Schaumbildung vorliegt, zum anderen ist die Dosierung nicht dem Einsatzfall angepaßt, sondern wird einmalig vorher festgelegt. Mit Hilfe einer Dosierpumpe kann die Entschäumerdosierung optimiert werden. Der Entschäumer kann so bei akuter Schaumbildung unabhängig vom Befüllungsvorgang der Vacudest-Anlage eingebracht werden. Des weiteren kann bis zum Erreichen der Schaumzerstörung eine angemessene Menge Entschäumer zugegeben werden. Eine Überdosierung des Entschäumers ist damit nicht mehr möglich, wenn die Dosierpumpe über die bereits vorhandene Leitfähigkeitsmessung im Verdampferdom gesteuert wird. Es kann z.B. auch durch mechanische Schaumzerstörungssysteme (Einspritzen von Destillat o.ä.) auf die Entschäumerdosierung verzichtet werden. Insbesondere in Fällen, bei denen die Rückgewinnung des Rückstandes in einer hochwertigen Qualität möglich und sinnvoll ist (wie z.B. bei hochwertigen Bearbeitungsölen), sind solche Systeme von Vorteil.

Eine weitere Verbesserungsmöglichkeit liegt in der konstruktiven Ausführung des Sumpfablasses. In der IUTA-Anlage wird der Rückstand seitlich abgezogen. Somit kann der Verdampfer nicht vollständig entleert werden. Wenn sich im Verlauf der Verdampfung eine freie Ölschicht

ausbildet, wird ein erheblicher Teil des Öles im Sumpf zurückbleiben und den Verdampfungsprozeß stören. Daher ist der Sumpfablaß nach unten von Vorteil.

Im Rahmen des Projektes wurde der Einsatz von Wasserdampf zur Spänereinigung getestet. Hierzu wurde die Verdampfungsanlage entsprechend modifiziert. Da im Vorfeld keine Erfahrungen über die Beeinflussung des Verdampfungsprozesses mit Brüdenverdichtung bei Dampfantnahme vorlagen, war zunächst die Installation einer Zusatzheizung vorgesehen. Erste Versuche zeigten jedoch, daß eine Dampfmenge von ca. 3 kg/h abgegriffen werden kann, ohne das System gravierend zu beeinflussen (Bild 7). Die Restdestillatmenge geht entsprechend dem Energieverlust des Dampfes zurück. Auf den Einbau einer Zusatzheizung für die Technikumsversuche wurde verzichtet.

#### **4.3.2 Durchführung der Technikumsversuche**

Zur Versuchsdurchführung wurden beide Reinigungsbehälter in den Waschkreislauf gebracht, wobei der obere Behälter zur Hauptreinigung, der untere zur Vorreinigung dient. Nach einem entsprechenden Waschwasserdurchsatz wurde der zweite Behälter an die Stelle des ersten Behälters gesetzt und dort die Hauptreinigung mit unbelastetem Waschwasser durchgeführt. Das aus dem oberen Behälter in den zweiten Behälter abfließende belastete Wasser dient dann zur Vorreinigung von "frischen" Spänen. Bei Dampfzugabe kondensiert der Dampf im oberen Waschbehälter auf den Spänen, reinigt diese und fließt durch den unteren Behälter wieder in die Verdampferanlage zurück.

Die Gestaltung der Reinigungskörbe wurde in zwei Bauformen durchgeführt. Zum einen wurde ein schlanker Zylinder (Form I, Durchmesser 200 mm) gewählt, zum anderen ein breiterer (Form II, Durchmesser 100 mm) (Bild 8). Im unteren Bereich der Zylinder wurde ein Siebboden eingebaut, auf den die Späneschüttung aufgebracht wurde. Die Behälter haben ein Fassungsvermögen von ca. 1-2 kg Späne je nach Spansorte. Die Behälter konnten über ein gasdichtes Schnellverschlußsystem untereinander verbunden werden. Von jeder Bauform wurden zwei Behälter angefertigt, um die mehrstufige Reinigung zu testen. Die Verdampfungsanlage wurde ebenfalls mit entsprechendem Verschlußsystem zum Anschluß der Behälter an die Übergabestellen für Dampf bzw. heißem Destillat ausgestattet. Zur Einstellung unterschiedlicher Temperaturen des Waschwassers wurde das Destillat vor (Wassertemperatur 80-90°C) bzw. nach dem Rekuperator (Wassertemperatur 40 - 60 °C) entnommen. Durch Mischen beider Stoffströme wurde die Temperatur des Destillatwassers entsprechend den Erfordernissen

eingestellt. Die gegebenenfalls eingesetzten waschaktiven Substanzen wurden mittels Schlauchpumpe in den Destillat- bzw. Dampfstrom knapp oberhalb der Späneschüttung dosiert.

Um die Versuchsergebnisse vergleichen zu können, wurden Späne mit einer definierten Ölbelegung eingesetzt. Hierzu wurden die entsprechenden Spänechargen vor jedem Reinigungsversuch mittels Lösemittel entölt, getrocknet und mit frischem Kühlschmierstoff definiert belegt. Mit diesen so hergestellten "Nullspänen" (in der Regel Sägespäne II) wurden die Versuche durchgeführt.

#### *Reinigungswirkungsgrad in Abhängigkeit von der Waschwassertemperatur*

Zur Untersuchung des Einflusses der Waschwassertemperatur auf die Reinigung wurden Sägespäne II mit einem Ausgangsölgehalt von ca. 1,4 Gew.% beladen. Beim Einsatz von ca. 2,5 kg Wasser pro kg Späne sowie einem Tensidanteil (P3-ferrolin 8643) von 0,5 Gew.% im Waschwasser wurden die in Bild 9 gezeigten Ergebnisse erzielt. Hierbei kamen die schlankere Bauform der Reinigungskörbe (Form I) bei zweistufiger Reinigung zum Einsatz.

In mehreren Versuchen wurde festgestellt, daß im Bereich oberhalb 60 °C Waschwassertemperatur durch eine Temperaturerhöhung keine Reinigungssteigerung erzielt werden kann. Die optimale Waschwassertemperatur sollte daher ca. 60 °C betragen. Zwischen 40 und 55 °C Waschwassertemperatur sind noch deutliche Verbesserungen der Reinigung möglich. Höhere Waschwassertemperaturen als 70 °C sind aus energetischer Sicht nicht sinnvoll.

#### *Reinigungswirkungsgrad in Abhängigkeit von der Waschwassermenge*

##### a) Einsatz von Dampf

Der Einfluß der Dampfmenge auf die Reinigung von Metallspänen wurde bei Dampfmenen von 0,33 und 0,67 kg pro kg Späne untersucht. Aus energetischen Gründen wurde auf höhere Dampf durchsätze verzichtet. Diese Untersuchungen wurden bei zweistufiger Ausführung mit und ohne Tensideinsatz durchgeführt. In Abhängigkeit von der Bauform der Reinigungskörbe wurden unterschiedliche Ergebnisse ermittelt.

Mit der breiteren Bauform (Form II) sind mit hohem und niedrigem Dampfeinsatz bei sonst gleichen Versuchbedingungen vergleichbare Reinigungswirkungsgrade von ca. 25 % festgestellt



worden. Diese Reinigungsergebnisse sind durch schnellen Dampfaustritt aus dem Reinigungsbehälter, bedingt durch die breite, gedrungene Bauform, zu erklären. Nur ein geringer Teil des Dampfes kondensiert auf den Spänen und steht somit zur Reinigung zur Verfügung. Der übrige Anteil geht dampfförmig durch den Behälter und hat somit keine Reinigungswirkung.

Bei Einsatz der verbesserten, schlankeren Bauform (Form I) konnte der gesamte Dampfstrom kondensiert werden und stand somit zur Reinigung zur Verfügung. Zudem hat die schlankere Bauform den Vorteil, daß pro Querschnittsfläche ein höherer Waschwasserstrom bei gleichem Waschwasserdurchsatz die Späne durchfließt.

Mit einem Dampfeinsatz von 0,33 kg /kg Späne wurde ein Reinigungswirkungsgrad von 70 % erzielt. Mit doppeltem Dampfeinsatz (0,67 kg/kg Späne) erhöhte sich der Reinigungswirkungsgrad auf 80 % (Bild 10).

#### b) Einsatz von Destillat

In Bild 11 ist die Abhängigkeit des Reinigungswirkungsgrades zur eingesetzten Destillatmenge graphisch dargestellt. Hierbei sind Versuche mit der schlanken Behälterbauform (Form I) als auch mit der breiten Behälterbauform (Form II) durchgeführt worden. Die konstant gehaltenen Versuchsbedingungen waren: Waschwassertemperatur 60 °C, kein Tensideinsatz, zweistufig, Ausgangsölgehalt der Sägespäne II 1,4 Gew.%.

Bei beiden Behälterbauformen ist zu erkennen, daß mit einer größeren Destillatmenge eine bessere Entölung der Späne zu erzielen ist. Mit der Verdopplung des Waschwassereinsatzes von 0,5 auf 1 kg pro kg Späne kann der Reinigungswirkungsgrad mit der schlanken Bauform von 68 auf 90 % gesteigert werden. Mit einer weiteren Verdopplung steigt der Reinigungswirkungsgrad allerdings nur um weitere drei Prozentpunkte an. Wie auch die übrigen Versuche zeigen, wird mit steigendem Wassereinsatz ein Grenzwert des Reinigungswirkungsgrades erreicht, der nur durch übermäßigen Tensideinsatz überwunden werden kann.

Die Auswertung der Versuche mit der ungünstigeren breiten Bauform (Form II) der Reinigungskörbe zeigt ein mit der anderen Bauform vergleichbaren Verlauf der Abhängigkeit zwischen Reinigungswirkungsgrad und Waschwassereinsatz, allerdings auf einem niedrigeren Niveau der Reinigungswirkungsgrade.

*Reinigungswirkungsgrad in Abhängigkeit von der Tensiddosierung*

Da ein Waschwassereinsatz von über 2 kg pro kg Späne wirtschaftlich nicht vertretbar sein wird, wurde mit der Dosierung von waschaktiven Substanzen versucht, den Waschwasserbedarf zu reduzieren. Die im Rahmen der Laborversuche erhaltenen Kenntnisse über wirkungsvolle Tenside wurden in den Technikumsversuchen zur Optimierung der Dosierung übernommen. Die konstanten Versuchsbedingungen lauteten: 60 °C Waschwassertemperatur, 0,5kg Destillat pro kg Späne, einstufige Ausführung, Sägespäne III mit 2,5 Gew.% Öl.

Das Tensid P3-ferrolin 8643 wurde im Bereich von 0 bis 2 Gew.% dosiert. Wie in Bild 12 zu erkennen ist, ist erwartungsgemäß durch den Tensideinsatz eine enorme Steigerung der Reinigung möglich, wobei sich bei Dosierung oberhalb von 0,5 Gew.% im Waschwasser keine weitere Steigerung der Reinigung ergibt. Somit konnte 0,5 Gew.% Tensid im Waschwasser als optimale Dosierung festgelegt werden.

*Waschwasserreduktion durch Tensideinsatz*

## a) Dampf

Die durchgeführten Versuche zur Reinigung der Späne mittels Dampf ergaben bezüglich der Waschwasserreduktion, daß durch Einsatz von 0,5 Gew.% Tensid im Wasser die Hälfte der Dampfmenge eingespart werden kann. So war ein Reinigungswirkungsgrad von 70 % mit 0,33 kg Dampf pro kg Späne und 0,5 Gew.% Tensid als auch mit 0,67 kg Dampf pro kg Späne ohne Tensidzugabe festzustellen. Weitere Untersuchungen wurden nicht durchgeführt, da zu diesem Zeitpunkt des Projektes abschätzbar war, daß auf den Einsatz von Dampf aus energetischen Gründen verzichtet werden kann.

(Konstante Versuchsbedingungen: einstufige Ausführung, Tensid P3-ferrolin 8643, Sägespäne II mit Ölgehalt 1,2 Gew.%)

## b) Destillat:

Bei der Reinigung der Späne mit Destillat wurde im Vergleich mit Dampf ein ähnlicher Zusammenhang bezüglich der Waschwasserreduktion durch Tensideinsatz festgestellt. Es wurde ein Reinigungswirkungsgrad über 90 % sowohl mit 2 kg Destillat pro kg Späne ohne Tenside als auch mit 1 kg Destillat pro kg Späne bei 0,5 Gew.% Tensid im Waschwasser erreicht. Somit

kann ungefähr die Hälfte des Waschwassers bei Einsatz von waschaktiven Substanzen eingespart werden.

(Konstante Versuchsbedingungen: zweistufige Ausführung, Waschwassertemperatur 60°C, Tensid P3-ferrolin 8643, Sägespäne II mit Ölgehalt 1,2 Gew.%)

Im Kapitel "Wirtschaftlichkeit" wird näher betrachtet, inwieweit die Reinigung mit Tensideinsatz im Vergleich zum erhöhten Waschwasserbedarf zur Erzielung des erforderlichen Reinigungswirkungsgrades günstiger ist.

### *Entschäumerdosierung*

Im Betrieb der Technikumsanlage wurde Schaumbildung in der Destillationsvorlage nur bei hohen Gehalten des Zusatzes P3-neutrapon 5088 im Waschwasser festgestellt. Bei zu starker Schaumbildung schaltet sich die Verdampfungsanlage zum Schutz des Verdichters automatisch ab. Die Erprobung unterschiedlicher waschaktiver Zusätze zeigte, daß bei Verwendung von P3-ferrolin 8643 keine nennenswerte Schaumbildung auftritt. Auf die bis dato eingesetzten Schauminhibitoren zur Aufrechterhaltung des Anlagenbetriebes konnte verzichtet werden. Der Verdampfungssumpf kann ohne Zusätze (Tenside) einer Verwertung in der Metallbearbeitung zugeführt werden, sofern der Wassergehalt den entsprechenden Anforderungen genügt.

Es wurden konstruktive Maßnahmen zur mechanischen Schaumvermeidung angedacht. Hierzu zählen neben mechanischen Schaumzerstörungseinrichtungen auch der Einsatz eines anderen Verdampfungsprinzips. Im Vergleich zum Blasenverdampfer (Bauprinzip der Vacudest-Anlage) bietet der Fallfilmverdampfer bezüglich des Schaumverhaltens deutliche Vorteile. Nachteilig sind jedoch die etwas höheren Investitionskosten.

### *Reinigungswirkungsgrad in Abhängigkeit von der Art des Kühlschmierstoffes*

Die bisher ermittelten Untersuchungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Reinigung emulsionsbehafteter Späne. Späne mit Anhaftungen von nicht wassermischbaren Kühlschmierstoffen sind nur mit höherem Waschwassereinsatz unter Tensidzugabe auf sinnvolle Restölgehalte abwaschbar. Erste Versuche zeigen folgende Ergebnisse:

*Übersicht zu den Versuchen:**Gußspäne**Wassereinsatz: 3-4 kg /kg Späne bei 60 °C**Tensid: 0,5 % im Waschwasser (P3-ferrolin 8643)**dreistufige Ausführung**Ausgangslage 3- 4 Gew. %**Restölgehalte kleiner 0,5 Gew. % möglich (abhängig von der Spanform)**Reinigungswirkungsgrad über 80 % möglich (abhängig von der Spanform)*

Die Reinigung von Spänen mit höheren Ölgehalten als 4 Gew.% ist im Rahmen dieses Projektes nicht weiter untersucht worden. Es ist anzunehmen, daß diese höheren Ölgehalte ohne weiteres von den Spänen abgelöst werden können. Als schwierigere Reinigungsaufgabe gilt sicherlich die Reduktion des Ölgehaltes unter 0,5 Gew.%. Dies hängt auch unmittelbar von der Spänegeometrie ab, insbesondere von der Spanoberfläche.

*Konzeption einer kontinuierlichen Spänereinigungsanlage*

Die nach den Reinigungsversuchen ermittelten Restölgehalte der emulsionsbehafteten Späne liegen im Bereich von 0,1 bis 0,5 Gew.%. Reinigungswirkungsgrade über 90 % sind erreichbar. Diese Ergebnisse erfüllen allerdings die gestellten Anforderungen noch nicht. Daher muß die im Rahmen der Technikumsversuche durchgeführte semikontinuierlich betriebene zweistufige Reinigung für den Einsatz in der betrieblichen Praxis angepaßt werden, d.h. die Stufenzahl muß erhöht werden.

Für eine Abschätzung kann bei emulsionsbehafteten Spänen angenommen werden, daß bei einer einstufigen Reinigung der Reinigungsgrad bei Einsatz von 1,5 kg Wasser/kg Späne, vorsichtig kalkuliert, 50 % beträgt. Bei einer zweistufigen Reinigung, d. h. der untere Behälter wird durch das ablaufende Waschwasser aus dem ersten Behälter vorgewaschen, ergibt sich eine gesamte Reinigungswirkung von 75 %. Hochgerechnet auf 10 Washstufen wird ein Reinigungsgrad von 99,9 % ermittelt. Bei den durchgeführten Versuchen konnte mit einer zweistufigen Reinigung ein Reinigungswirkungsgrad von ca. 90 % erreicht werden. Dies läßt erwarten, daß der angestrebte Restölgehalt von ca. 0,1 % vom Ausgangswert schon mit einer geringen Erhöhung der Reinigungsstufenzahl erreicht wird. Diese Abschätzung gilt bei der genannten Annahme des quasi-linearen Zusammenhangs nur für emulsionsbehaftete Späne. Bei ölbehafteten Spänen, also mit nicht wassermischbaren KSS auf der Spanoberfläche, ist eine solche Abschätzung mit größerem Fehler behaftet.

Eine Reinigungseinheit mit mehreren Spänebehältern ist jedoch für die betriebliche Praxis sehr unhandlich. Daher wurden geeignete Reinigungsanlagen konzipiert. Gedacht wurde in erster Linie an eine senkrecht fördernde Schnecke, die im Gegenstrom mit Wasser betrieben wird. Eine solche Reinigungsförderschnecke wurde in einem Versuch mit 10 Förderkörben (Becherglas) als Rührkesselkaskade mit Frischwasser im Gegenstrom simuliert. In jeder Stufe wurde eine Rührzeit von 5 Minuten eingehalten. Der 10. Förderkorb wurde anschließend analysiert. Bei einem Ölgehalt vor der Reinigung von 1,5 Gew.% und einem Waschwassereinsatz von 1,5 kg/kg Späne wurde ein Reinigungswirkungsgrad von 98 % (also ein Restölgehalt von 0,03 Gew.% nach der 10. Stufe) ermittelt. (Versuchsbedingungen: emulsionsbehaftete Sägespäne II, Waschwassertemperatur 50 - 60 °C, Tensidgehalt im Waschwasser 0,5 Gew.%, zehnstufige Ausführung im Becherglas-Rührversuch)

#### **4.3.3 Stoffströme Reindestillat/Waschwasser zur kombinierten Betriebsweise**

Das Verhältnis der Stoffströme Reindestillat (zur Einleitung oder als Brauchwasser) und Waschwasser (zur Spänereinigung) läßt sich stark variieren. Es können "Extremfahrweisen" eingestellt werden, zum einen reine Spänereinigung, d.h. das 60°C heiße Wasser wird im Kreislauf gefahren, und zum anderen ausschließlich Reinigung von betrieblichen Abwässern oder wäßrigen Reststoffen.

Die Ergebnisse des Projektes bezüglich der Spanentölung zeigen, daß mit 60°C heißem Waschwasser gute Reinigungswirkungsgrade zu erzielen sind, so daß auf die "Dampfreinigung" auch aus energetischen Gründen ganz verzichtet werden kann. Da die Versuchsanlage das Destillat mit einer Temperatur von ca. 40 - 60 ° C abgibt, kann dieser Strom ohne weitere Behandlung bzw. ohne jegliche Beeinträchtigung der Verdampfungsanlage direkt zur Spänereinigung genutzt werden. Die im Waschwasser eingesetzten Tenside bleiben vollständig im Verdampfungssumpf zurück. Somit kann jederzeit ein Mischbetrieb gefahren werden.

Im Einzelfall muß entschieden werden, welche betrieblichen Abwässer gleichzeitig zur Spänereinigung eingedampft werden können. Reststoffe, wie Entfettungsabwässer und Alt-emulsionen, können aufgrund der mit den Kühlschmierstoffen vergleichbaren Ölinhaltsstoff problemlos für die Verwertung des Reindestillats bzw. des Verdampfungssumpfes gleichzeitig eingesetzt werden. Bei Abwässern mit abweichenden Ölinhaltsstoffen, wie z.B. Waschwässer vom Dampfstrahlplatz, kann die Verwertung des Verdampfungssumpfes eingeschränkt bzw. die Entsorgung drastisch verteuert werden. Zur Verbesserung der möglichen Verwertung des Verdampfungssumpfes ist die Aufbereitung von betrieblichen Abwässern mit Ölen/Fetten anderer

Herkunft im getrennten Batchbetrieb sinnvoll. So ist über Nacht oder am Wochenende das vollautomatische Eindampfen von wäßrigen Reststoffen über entsprechend groß dimensionierte Pufferbehälter durchführbar.

Eine kombinierte Betriebsweise kann mit einfachen Mitteln technisch realisiert werden. So ist beispielsweise der Füllstand in der Schmutzwasservorlage der Verdampfungsanlage durch bedarfsweisen Zulauf von zusätzlichem Betriebsabwasser aus einem entsprechenden Pufferbehälter über einen Schwimmerschalter regelbar. Die Destillatmenge, die nicht zur Spänereinigung benötigt wird, kann über einen Überlauf in einen Reinwassersammelbehälter überführt werden.

Resümierend kann festgestellt werden, daß das Verhältnis von Reindestillat- zu Waschwasserstrom je nach Anforderung beliebig einstellbar ist. Die Auslegung der Baugröße der Destillationsanlage hängt somit stark vom betrieblichen Anwendungsfall ab, also dem Gesamtanfall an wäßrigen Reststoffen sowie an zu reinigenden Spänen.

#### **4.3.4 Destillatqualität**

Die Analysen des Reindestillats ergaben in Abhängigkeit von der erreichten Aufkonzentration der Emulsionen im Verdampfungssumpf etwa 200 - 600 mg Kohlenwasserstoffe pro Liter (bestimmt mit GC/FID). Dieser Wert ist für die Abwassereinleitung deutlich zu hoch. Mit geeigneten Maßnahmen zur Nachreinigung stellt dies allerdings kein Problem dar. Durch den Einsatz eines herkömmlichen Öl/Wassertrennapparates aus der Aufbereitung von Druckluftkondensaten (Ölabscheider mit Aktivkohlefilter) sind die allgemein gültigen Grenzwerte der Abwassereinleitung erfüllbar. Zum Neuansatz von Kühlschmierstoffemulsionen stört dieser Restölgehalt im Destillat nicht.

Im Rahmen des Projektes wurde sich auf den Einsatz von Reinigungszusätzen auf neutralen pH-Wertbereich beschränkt. Somit besteht kein Neutralisationsaufwand für das Destillat.

Aufgrund des Einsatzes von waschaktiven Substanzen wurde überprüft, inwieweit diese Substanzen die Destillatqualität beeinflusst. Mittels den GC/FID-Analysen konnte festgestellt werden, daß nur im Spurenbereich Tensidkomponenten im Destillat enthalten sind. Eine Beeinflussung der Qualität mit Blick auf die Ansetzung neuer Kühlschmierstoffemulsionen wird ausgeschlossen.

Verunreinigungen wie Kaltreiniger und andere Lösemittel, die vom Siedepunkt unter oder im Bereich von Wasser liegen, müssen von dem System ferngehalten werden, da diese ins Destillat übergehen und eine weitere Verwendung als Brauchwasser im Betrieb auf Dauer ausschließen.

Zum Neuansatz von KSS-Emulsionen ist die Keimfreiheit des Wassers von Bedeutung. Eine Entkeimung des Destillats kann aufgrund der Temperatur von 110 bis 120 °C hinter dem Verdichter erwartet werden. Zwecks weitergehender Entkeimung ist es möglich, die Betriebstemperatur des Verdichters geringfügig zu erhöhen. Weitergehende Analysen diesbezüglich wurden nicht durchgeführt.

#### 4.3.5 Sumpfqualität

Die Analysen der Sumpfzusammensetzung und damit verbunden die Klärung der Verwertungs-/Entsorgungsmöglichkeiten des Ölkonzentrats wurden durchgeführt.

Der Eintrag von Feststoffen in Form von Späneabrieb in die Verdampfungsanlage verhindert werden. Der Sumpf muß in einer fließfähigen Konsistenz ausgebracht werden können. Bei den Versuchen zeigte sich insbesondere bei der Reinigung von Gußspänen, daß im Falle eines ungefilterten Feedstroms der Sumpfaustrag aus der Verdampfungsanlage stark eingeschränkt ist. Die eingetragenen Partikel führen im Konzentrat zu einer schlammartigen Konsistenz. Des weiteren stört der Feststoffanteil im Verdampfungsumpf bei einer möglichen Verwertung bzw. Entsorgung.

Die Eindampfzeit in der Destillationsanlage hängt vom Eingangsölgehalt des Feed ab. Das Waschwasser aus der Spänereinigung der Technikumsversuche konnte in der Vacudest-Anlage auf einen Ölgehalt von ca. 25 Gew.% eingedampft werden. Durch eine nachträgliche Aufkonzentration (6 Minuten ohne Feedzufuhr) ist der Ölgehalt auf etwa 50 % einzustellen. Eine weitere Aufkonzentrierung auf ca. 60 - 80 Gew.% ist zwar technisch möglich, kann aber nicht empfohlen werden. Zum einen wird die Destillationsleistung bei höheren Ölgehalten im Sumpf niedriger, zum anderen wird der Ölgehalt im Destillat von ca. 200 auf 600mg/l erhöht. Außerdem ergibt sich ein vermehrter Wartungs- und Reinigungsbedarf.

Im Vergleich zur Ultrafiltrationsaufbereitung (maximale Ölkonzentrationen im Retentat liegen bei ca. 20-25 %) konnte eine deutliche Senkung des Restwassergehaltes erzielt werden.

*Entsorgung von KSS-Emulsionen:*

Als Grundpreis für die Entsorgung von KSS-Emulsionen können bei geringen Anfallmengen ca. 600,- DM pro 1000 kg betrachtet werden. Zuzüglich werden noch Analysenkosten von ca. 850,- DM pro Charge, Bearbeitungsgebühren und evt. Behältermieten in Rechnung gestellt. Der o.g. Grundpreis gilt beispielhaft für eine Chemisch-Physikalische-Behandlungsanlage bei Einhaltung folgender Konzentrationen:

pH-Wert 6-9, Nitrit < 20mg/l, Chromat < 0,2 mg/l, Cyanid < 1 mg/l, CKW < 1 mg/l, Ölgehalt < 5 %, PCB < 1 mg/kg, Feststoff < 5 %

Überschreitungen der o.g. Werte führen zu Preisaufschlägen.

Wird das Abwasser/Waschwasser auf einen Ölgehalt von 50 % im Verdampfungssumpf gegenüber ursprünglich 5 % in der KSS-Emulsion aufkonzentriert, ergibt sich eine Kosteneinsparung von ca. 1000,- DM/t aufgrund der verminderten Entsorgungskosten durch die Wasserabtrennung. Mit diesem Kostenvorteil müssen sich die Investitionen für die Eindampfanlage amortisieren. Bei einem höheren Anfall bzw. Abgabe an zu entsorgender Altemulsion verringert sich die Kosteneinsparung auf ca. 500 - 700 DM/t aufgrund reduziertem Grundpreis und geringerem Analysenaufwand.

Bei der Reinigung von Spänen, die mit reinen Ölen behaftet sind, besteht die Möglichkeit, diese Öle für den Wiedereinsatz in den Bearbeitungsmaschinen der Fertigung aus dem Verdampfungssumpf zurückzugewinnen. Allerdings muß darauf geachtet werden, daß möglichst keine bzw. nur geringfügige Mengen Tenside zur Unterstützung der Reinigung eingesetzt werden. In den Versuchen wurde festgestellt, daß bei entsprechend hoher Ölkonzentration im Verdampfersumpf freies Öl aufschwimmt, welches zum Wiedereinsatz abgeskimmt werden kann. Erste Untersuchungen im IUTA ergaben bezüglich des Restwassergehaltes im "Recyclingöl" zufriedenstellende Ergebnisse. Bei einem synthetischen Bearbeitungsöl pflanzlicher Herkunft wurde im Recyclingöl ein Wassergehalt von < 0,3 Gew.% durch Analyse mittels Titration nach Karl Fischer festgestellt.

#### **4.3.6 Korrosionsverhalten / Spänetrocknung**

Aufgrund des Restwassergehaltes der Späne nach der Reinigung besteht je nach Metallsorte die Gefahr von Korrosionserscheinungen.



So wurde bei Gußspänen mit einem Gehalt von ca. 1 Gew.% Öl und einem Wassergehalt von 3-4 Gew.% schon nach einem Tag deutliche Korrosionsanzeichen festgestellt. Bei einem Restölgehalt von etwa 2 Gew.% waren diese Anzeichen über Wochen nicht feststellbar.

Aus diesem Beispiel geht hervor, daß die Einstellung eines sehr niedrigen Restölgehaltes nicht immer sinnvoll ist, bzw. daß gegebenenfalls Maßnahmen zur Spänetrocknung ergriffen werden müssen. Zur Trocknung wird dabei an die geschickte Ausnutzung der Überschußwärme des Verdampfers gedacht. Zum einen wird die Verdampfungsanlage zum Schutz vor Überhitzung des Motors mittels eines Ventilators gekühlt. Zum anderen steht in einer kontinuierlich betriebenen Anlage bei der Rückführung des noch warmen Spänewaschwassers ein Energieüberschuß zur Verfügung.

#### 4.4 Massenbilanz /Energiebilanz/Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Im Rahmen der Untersuchungen konnte ermittelt werden, daß der Einsatz von Wasserdampf zur Spänereinigung im Vergleich zum heißem Waschwasser nicht in dem Maß effektiver ist, um die zur Dampferzeugung höheren Kosten zu rechtfertigen. Zudem kann über folgende Energieabschätzung verdeutlicht werden, daß die Dampfreinigung nur begrenzt wirkungsvoll arbeitet.

Um 1kg Späne von 20°C auf 100 °C aufzuheizen, werden 16 g Dampf (Annahmen: Wärmekapazität des Metalls  $c_{p,\text{Eisen}} = 0,452 \text{ kJ}/(\text{kg K})$ ; Verdampfungsenthalpie Wasser  $r_{\text{Wasser}} = 2257 \text{ kJ}/\text{kg}$ ) benötigt. Diese 16 g Dampf kondensieren auf der Spanoberfläche und tragen zur Spänereinigung bei. Der darüberhinaus zugegebene Dampf schlägt ohne Kondensation durch. Ein Abfließen des Kondensats und damit ein Transport der Ölanteile aus der Späneschüttung heraus findet kaum statt. Ein weiterer Entölungseffekt besteht nur, wenn Wärme nach außen abgeführt wird und es zu einer weiteren Dampfkondensation kommt. Dieses Kondensat wird aber eher in der Nähe der Behälterwand anfallen und reinigt die mittleren Späneschichten kaum. Bei Verwendung des Gegenstrom-Prinzips wird sogar noch wesentlich weniger Dampf zur Aufheizung der Späne benötigt, da die Späne durch das ablaufende warme Kondensat entsprechend vorgewärmt werden.

Aus den Ergebnissen der Versuche geht hervor, daß ein vergleichbarer Reinigungswirkungsgrad erzielt werden kann, wenn 2 kg Destillat ohne Tensid (Option I) oder 1 kg Destillat mit 0,5 %Tensid (Option II) zur Reinigung von 1 kg emulsionsbehafteter Spänen eingesetzt werden. Anhand einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird im folgenden eine Gegenüberstellung der beiden Reinigungsoptionen durchgeführt. Zu berechnen ist, inwieweit sich die vergleichsweise

hohen Investitionen für die Bereitstellung von einem zusätzlichen kg Destillat pro kg Späne gegenüber den Tensidkosten lohnen. Hierbei gelten folgende Annahmen:

- Energieaufwand: Der Energieaufwand zur Erzeugung von 1kg Destillat beträgt bei der VacuDest grob geschätzt 90 Wh. Hierbei ist der Aufwand für die Steuerdruckluft der Ventile bereits enthalten. Bei einem angenommenen Strompreis von 0,20 DM/kWh kostet demnach 1 kg Destillat ca. 1,8 Pf.
- Tensidkosten: Das Tensid kostet ca. 15 DM/kg. Bei einer Dosierung von 0,5 Gew.% im Waschwasser ergeben sich laufende Kosten von etwa 7,5 Pf pro kg Waschwasser.
- Investitionskosten: Die Investitionen für eine Destillationsleistung von 1kg/h belaufen sich auf ca. 800 DM (Anlagengröße 120 kg/h) bis zu 2000 DM (Anlagengröße 20 kg/h).
- Betriebszeiten: Es wird eine Betriebszeit von 8 bzw. 12 Stunden pro Tag bei 250 Tagen pro Jahr angenommen.

Alle übrigen Kosten verhalten sich für beide Optionen gleich. Somit sind für Option II zusätzlich 7,5 Pf/kg Späne im Vergleich zu einem Betrieb mit 1 kg Destillat ohne Tensid mehr zu berechnen, unabhängig von der Gesamtbetriebszeit. Für Option I ergeben sich gegenüber einem Betrieb mit 1 kg Destillat ohne Tensid zusätzliche Investitionskosten bei der Verdampfungsanlage sowie zusätzliche Betriebskosten in Form von Energiekosten. Bezogen auf die gereinigten Späne folgen also für Option I Zusatzkosten, die von der Gesamtbetriebszeit der Anlage abhängen.

Im Bild 13 ist der Vergleich der Zusatzkosten pro kg Späne für Option I und Option II für eine Auslastung von 8 h pro Tag dargestellt. Für Option II ergeben sich konstante Zusatzkosten in Höhe von den o.g. 7,5 Pf/kg Späne. Für Option I ergeben sich für kleine Anlagen (Destillationsleistung von 20 kg/h) Zusatzkosten, die auch bei Laufzeiten von 15 Jahren noch oberhalb der Zusatzkosten für Option II liegen. D.h., daß in diesem Fall immer die benötigte Waschwassermenge durch Tensideinsatz reduziert wird. Für größere Anlagen lohnt sich ab ca. 7 Jahren Laufzeit der Verzicht auf Tensidzusätze.

Im Bild 14 ist im Vergleich zum vorherigen Bild lediglich die Auslastung der Anlage auf 12 Stunden pro Tag erhöht worden. Die Option I bei kleinen Anlagen wird erst bei Laufzeiten von

über 11 Jahren rentabler als Option II. Für große Anlagen ergibt sich schon nach 4,5 Jahren ein Vorteil für Option I gegenüber der Option II.

Bei Anlagenrößen, die wesentlich über einer Destillationsleistung von 120 kg/h liegen, wird der Verzicht auf Tensid schon in wesentlich kürzeren Zeiten lohnend.

Im folgenden soll anhand von zwei Beispielen betrachtet werden, wie sich die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens der Spanentölung mit kombinierter Aufbereitung von wäßrigen Reststoffen gestaltet. Dabei wird von einer kontinuierlich betriebenen Spänereinigungsmaschine ausgegangen, die gegenüber der zweistufigen Ausführung der Technikumsversuche bei gleichem Wassereinsatz deutlich höhere Reinigungswirkungsgrade bzw. bei wesentlich geringerem Wassereinsatz pro kg Späne (Annahme 0,2 kg Destilat/kg Späne) eine vergleichbare Reinigung von emulsionsbehafteten Spänen erzielt. Die in den beiden Beispielen angenommenen Berechnungsgrundlagen bzw. Anfallmengen sind von realen Betrieben übernommen worden.

#### **Beispiel 1: Schrotthandel (reiner Spänereinigungsbetrieb)**

Der Metallschrotthandel sammelt die in Fertigungsbetrieben anfallenden Späne und lagert diese auf einem Spänesammelplatz bis zum Weitertransport in die Verwertungsbetriebe. Die Lagerungsbedingungen der öl- und emulsionsbehafteten Späne müssen den Anforderungen des Gewässerschutzes genügen. Hierzu ist die Errichtung einer aufwendigen Bodenabdichtung und Überdachung erforderlich. Durch den Einsatz eines Späneaufbereitungsverfahrens kann diese Investition entfallen.

Im Anhang ist eine Kostenbetrachtung für einen Schrotthandelsbetrieb beispielhaft durchgeführt worden. Zum einen wurde hierbei der Einsatz einer Spänereinigungsanlage, zum anderen die Errichtung einer Bodenabdichtung mit Abwassererfassung und -aufbereitung betrachtet. Bei dem Vergleich ergibt sich für einen Späneanfall von 4000 t pro Jahr ein Späneaufbereitungsaufwand von ca. 48 DM/t. Alternativ ergibt sich für den Betrieb ohne gezielte Spänereinigung ein Aufwand von 34 DM/t. Demnach kann für den Einsatz einer Spänereinigung ein Mehraufwand von ca. 14 DM/t festgestellt werden. Dieser Mehraufwand kann noch gemindert werden, da von einem höheren Erlös der Späne bei der Verwertung auszugehen ist, der 14 DM/t weit übersteigen kann. So kann beispielsweise der pauschale Abschlag von 5 % Feuchte für trockene Späne entfallen. Ab einem Späneerlös von 300 DM/t würde sich demnach die Aufbereitung mit einer Spänereinigungsmaschine lohnen.

Die Rentabilität einer Spänereinigungsanlage muß im Einzelfall untersucht werden.

## **Beispiel 2: Metallverarbeitender Betrieb (Mischbetrieb)**

In einem metallverarbeitendem Betrieb fallen 250 kg emulsionsbehaftete Späne pro Stunde an. Bei einem zweischichtigem Betrieb sind demnach im Jahr etwa 880 t Späne aufzubereiten. Des weiteren fallen durch den Kühlschmierstoffaustausch noch 50 m<sup>3</sup> Altemulsion jährlich zur Entsorgung an.

Es ergibt sich bei ausschließlichem Spänereinigungsbetrieb ein Kostenbedarf von ca. 52 DM pro Tonne Späne, zusammengesetzt aus Betriebs- und Investitionskosten (Abschreibung auf 7 Jahre). Durch die Aufbereitung der Altemulsion über Nacht können zusätzlich jährlich 35000 DM an Entsorgungskosten eingespart werden. Daraus ergeben sich verminderte Aufbereitungskosten für die Späne in Höhe von 12 DM pro Tonne. Dieser Aufwand wird durch eine Erlössteigerung für die gereinigten Späne vermindert. Wird das Beispiel 1 "Betrieb des Schrotthandels ohne Spänereinigungsanlage" unterstellt, so wird die Erlössteigerung mindestens 34 DM/t betragen. Somit kann insgesamt ein Erlös von mindestens 22 DM/t Späne bzw. ca. 19.000 DM pro Jahr erzielt werden.

Weitere Kosteneinsparungen sind durch die Bereitstellung von etwa 45 m<sup>3</sup> entsalztem Wasser zum Ansatz von neuen Kühlschmierstoffemulsionen möglich. Zudem kann im Einzelfall die Rückgewinnung des Öles zum Zweck der Verwertung einen entscheidenden Beitrag zur verbesserten Wirtschaftlichkeit leisten.

## **5. Anwendung und wirtschaftliche Bedeutung**

Die Ergebnisse dieses FuE-Vorhabens dienen der Auslegung von kleinen, kompakten Reinigungseinheiten. Deren Einsatzbereich ist in erster Linie in kleinen und mittleren Betrieben der metallverarbeitenden Industrie zu suchen. Besonders in Firmen, bei denen hochwertige Nichteisenmetalle spanabhebend bearbeitet werden, wird sich der Einsatz einer solchen Anlage lohnen.

Der wirtschaftliche Nutzen ergibt sich durch folgende Vorteile:

- die zu entsorgende Menge an gebrauchten Kühlschmierstoffen wird auf mindestens 10 % reduziert,
- Abwasserabgaben für weitere betriebliche, wäßrige Reststoffe können gesenkt werden,
- das gewonnene Reinwasser kann zum Neuansatz von Kühlschmierstoffen genutzt werden, d.h. es entfallen die Kosten für die Beschaffung von destilliertem Wasser,
- das gewonnene Reinwasser kann als Brauchwasser im Betrieb eingesetzt werden,

- der Erlös für die gereinigten Späne wird deutlich über dem bisher zu erzielenden Erlös liegen,
- die Rückgewinnung nicht wassermischbarer Kühlschmierstoffe ist möglich,
- die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens wird sich bei weiterhin steigenden Entsorgungs- und Abwasserkosten stetig verbessern.

Durch dieses FuE-Vorhaben wurde eine fundierte Basis zur Verfahrensauslegung und zum Betrieb solcher Reinigungseinheiten erarbeitet. Diese Auslegungskriterien sind für die Firmen bedeutsam, die später die Umsetzung dieses Verfahrens in die Praxis übernehmen.

## 6. Zusammenfassung

In der metallverarbeitenden Industrie fallen öl- und fetthaltige wäßrige Reststoffe in Form von Kühlschmierstoffen (KSS), Entfettungsabwässern etc. an. Des weiteren werden in Fertigungsbetrieben öl- und schmutzbehaftete Metallspäne gesammelt, die an Verwertungsbetriebe abgegeben werden. Vor dem Recycling der Späne, z.B. in Schmelzen, ist es notwendig, die Anhaftungen zu entfernen.

Im Rahmen dieses Projektes sind hierzu die Grundlagen für ein Kombinationsverfahren erarbeitet worden, mit dem die wäßrigen Reststoffe aufbereitet werden und zugleich eine Spänereinigung bei einer energetisch günstigen Prozeßführung stattfindet. Dazu wurde eine semikontinuierlich arbeitende Anlage mit einem Wasserdurchsatz von etwa 500 kg pro Tag in Betrieb genommen. Zur Wasseraufbereitung dient eine Vakuumdestillationsanlage nach dem Prinzip der Brüdenverdichtung. Das Destillat bzw. der Dampf wird zur Spänereinigung eingesetzt.

Anhand von Untersuchungen im Labormaßstab konnten Erkenntnisse zur Auslegung der Spänereinigungsbehälter der Technikumsversuche ermittelt werden. Zudem wurde parallel dazu eine neue analytische Methode mittels Gaschromatographie mit Flammenionisationsdetektor (GC/FID) zur Bestimmung des Ölgehaltes der Späne und der Ölzusammensetzung entwickelt.

Bei zweistufiger Reinigung emulsionsbehafteter Späne hat sich gezeigt, daß bei einem Wassereinsatz von 1,5-2 kg pro kg Späne mit einer Temperatur von 60°C Reinigungswirkungsgrade von über 90 % erzielt werden. Restölgehalte im Bereich von 0,1 bis 0,5 Gew.% sind möglich. Eine vergleichbare Reinigung wird durch den Zusatz von waschaktiven Substanzen bei halbiertem Waschwassereinsatz erzielt. In Abhängigkeit vom Anwendungsfall ergibt sich aus der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung die optimale Betriebsweise der Spanentölung (mit oder ohne

Tensidzugabe). Der Einsatz von Wasserdampf als Waschmedium zeigte nicht in dem Maße eine Verbesserung des Reinigungswirkungsgrades wie der Aufwand zur Bereitstellung von Wasserdampf gegenüber heißem Wasser ansteigt.

Die durchgeführte zweistufige Spänereinigung kann durch die technische Realisierung mehrerer Stufen übereinander, wie sie mit einer senkrechtfördernden Schnecke möglich ist, optimiert werden. Eine deutliche Reduzierung des Waschwasserbedarfs bei gleichem Reinigungswirkungsgrad bzw. eine weitere Senkung des Restölgehaltes der Späne sind möglich.

Die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens wurde beispielhaft anhand eines Schrotthandelsbetriebes mit ausschließlicher Spänereinigung und einem metallverarbeitendem Betrieb mit einer kombinierten Betriebsweise von Spanentölung und Aufbereitung von Kühlschmierstoff-Alt emulsion aufgezeigt. Ein Mehraufwand von ca. 14 DM pro Tonne Späne konnte für den Schrotthandelsbetrieb ermittelt werden, der jedoch durch eine Erlössteigerung der abzugebenden gereinigten Späne aufgefangen wird. Der angenommene metallverarbeitende Betrieb kann mit einem Erlös von mehr als 19 DM pro Tonne Späne rechnen.

Das Kombinationsverfahren hat ein breites Einsatzspektrum in der metallbe- und -verarbeitenden Industrie sowie im Schrotthandel. In Frage kommt der Einsatz in großen Betrieben, z.B. in Motorenwerken, und vor allem in mittelständischen Betrieben, die neben dem Anfall von Spänen auch wäßrige Reststoffe aufzubereiten haben. Das Verfahren ist auch für die Entölung von Buntmetallspänen einsetzbar.

Die Umweltrelevanz der Öl- und Emulsionsanhaftungen der Späne wird mit dieser Anlage am Ort des Entstehens entschärft. Unabhängig davon lohnt sich der Einsatz des Verfahrens durch die Wertstoffrückgewinnung. Die mit diesem Verfahren entölten Späne können problemlos und ohne großen Sicherheitsaufwand vom Händler eingesammelt und zum Verwertungsbetrieb transportiert werden.

## **7. Ausblick**

Im Rahmen des Projektes wurde gezeigt, daß die Kombination der Spanentölung mit der Aufbereitung wäßriger Reststoffe mit einem vertretbaren Aufwand durchgeführt werden kann. Die Übertragung der erhaltenen Erkenntnisse in eine praxisgerechte Anlage konnte mit dem Modell einer senkrecht fördernden Schnecke, die im Gegenstrom mit Waschwasser betrieben wird, simuliert werden. Diesbezüglich besteht weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Zahlreiche Anfragen auf diversen Messen und Tagungsveranstaltungen zeigen, daß ein Markt für ein solches preisgünstiges Verfahren vorhanden ist. Ein immer wichtiger werdender Aspekt der Weiterentwicklung ist dabei die Rückgewinnung der nicht wassermischbaren Kühlschmierstoffe.

Die Ölverluste über den Späneausstrag müssen im Kühlschmierstoffsystem der Fertigung ersetzt werden. Insbesondere bei sehr hochwertigen und damit teuren Ölen kann die Wirtschaftlichkeit eines Spanentölungsverfahrens durch die direkte Rückführung des abgeschiedenen Öles ins Kühlschmierstoffsystem wesentlich gesteigert werden. Allerdings muß sichergestellt sein, daß das "Recyclingöl" in einer Qualität erhalten wird, die den Wiedereinsatz im Kühlschmierstoffsystem erlaubt. Ein wichtiger Punkt dabei wird die Unterschreitung eines maximalen Wassergehaltes im Öl sein. Gegebenenfalls ist eine einfache Öltrocknung nachzuschalten.

Neben den Metallspänen fallen in der metallverarbeitenden Industrie weitere problematische Reststoffe an. Hierzu zählen die hoch mit Öl kontaminierten Schleifschlämme. Diese Stoffe besitzen teilweise Ölgehalte bis über 60 Gew.%. Vor einer Verwertung der Metallanteile muß in der Regel der Ölgehalt reduziert werden. Einfache Becherglas-Rührversuche mit Tensidwasser in mehreren Stufen zeigen die prinzipielle Entölungsmöglichkeit dieser Reststoffe mit wäßrigen Medien. Die derzeit entwickelten Verfahren, beispielsweise die Extraktion mit überkritischem Kohlendioxid, die Vakuumtrocknung oder die Extraktion mit Lösemittel, sind gegenüber einer Deponierung oder thermischen Verwertung nicht wirtschaftlich. Die geschickte Übertragung der im Rahmen dieses Projektes erhaltenen Kenntnisse der Spanentölung auf Schleifschlämme sollte zu einer erfolgversprechenden Technik zur Behandlung von Schleifschlämmen führen. Dabei wird auch an eine Reinigung im Senkrechtschneckenförderer gedacht. Von bedeutender Rolle wird hierbei die Rückgewinnung der Ölphase zum Wiedereinsatz als Kühlschmierstoff sein. Der entölte Metallanteil kann dann nach entsprechender Aufbereitung (z.B. Brikettierung) im Stahlwerk verwertet werden.

Mit der Technologie der Reinigungsförderschnecke lassen sich aber auch andere verschmutzte Güter, wie Böden, Kunststoffe, Shreddermaterialien o.ä., erfolgreich behandeln. Hier besteht weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Ausgehend von diesen Kenntnissen und Erfahrungen wurde zur Spänereinigung eine solche Reinigungsförderschnecke konstruiert und gebaut. Bild 15 zeigt die Integration der Schneckenmaschine in das Gesamtkonzept der kombinierten Aufbereitung von Spänen und wäßrigen Reststoffen. Erste Versuche werden derzeit durchgeführt und bestätigen die oben genannten Erwartungen.

## 7. Literaturverzeichnis

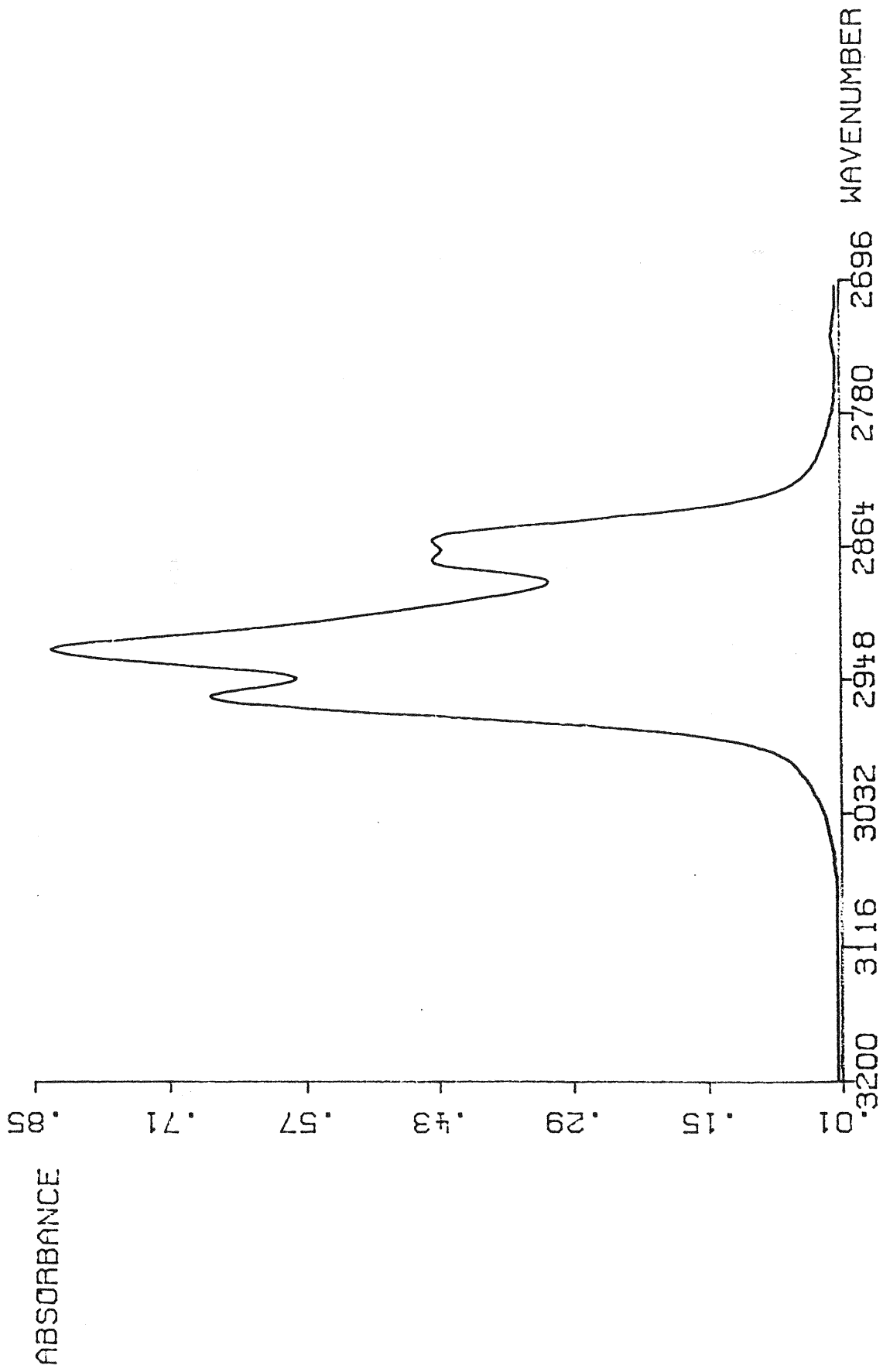
- /1/ D. Klamann, R.R. Rost, G. Nodop, G. Runge, L. Endom, H.H. Siebert, G.A. Ehlers, K.-H. Wilhelmi: Schmierstoffe; Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie, Band 20, S. 617ff., 4. Auflage 1982, Verlag Chemie, Weinheim
- /2/ J. Müller: Kühlschmierstoffe aufarbeiten und entsorgen; Umwelt Bd. 21 (1991) Nr. 1/2, S.50-52
- /3/ K. Munk: Spanentölung und Kühlschmierstoffaufbereitung im Produktionsbetrieb; VDI-Z (130/1980)Nr.2, S.62-67
- /4/ L. Hartinger: Handbuch der Abwasser- und Recycling-Technik für die metallverarbeitende Industrie; 2. Auflage 1991, Carl Hanser Verlag, München
- /5/ G. Benitz: Nur mit Dampf; Industrie-Anzeiger 27/92, S.30-32
- /6/ K. Heppner: Kühlschmierstoffe in Wasser und Öl spalten; Umwelt, Bd. 22 (1992), Nr. 6, S.375-376
- /7/ Dr. Briem: Wirtschaftliches Trocknen von Aluminiumspäne; Metall, Bd. 37 (1983), Nr. 4, S. 382-384
- /8/ M. Graber: Stand der Sammlung und Verwertung von mit Kühlschmierstoffen verunreinigten, metallischen Rückständen aus der metallverarbeitenden Industrie; Diplomarbeit an der Fachhochschule Gelsenkirchen, Fachbereich Versorgungs-/Entsorgungstechnik, April 1995
- /9/ Bertold, V.; Liebert, J.: "Alternativen zur IR-Spektrometrischen Kohlenwasserstoffbestimmung entsprechend DIN 38409 H18, erste Arbeiten zur Analyse von Böden", ESWE-PRISMA 4, 1995, S. 6-7



## **Anhang**

- 15 Bilder
- Analysenbedingungen GC/FID
- Kostenbetrachtungen

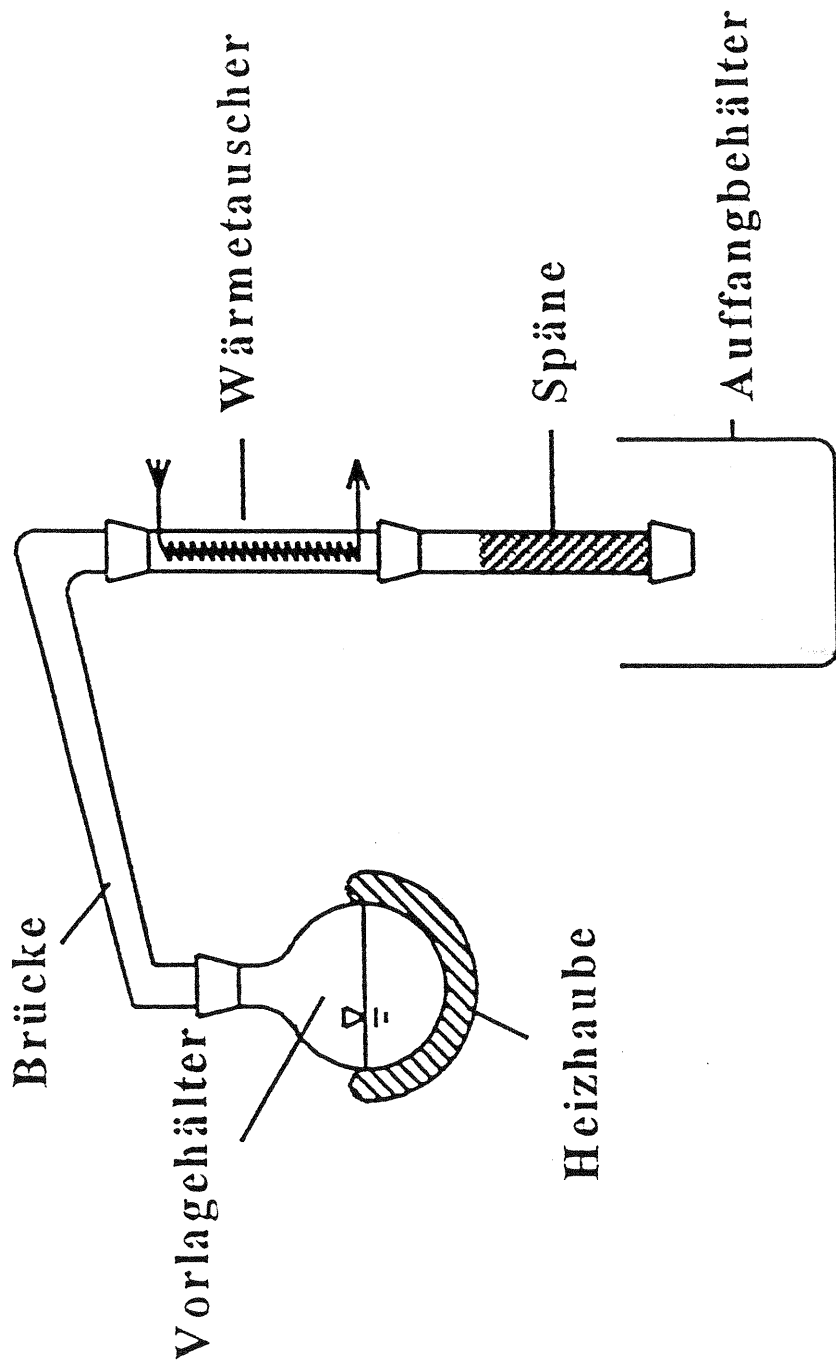




IR-Spektrum der Spansorte III

Bild 2





	Schüttdichte (feucht) [kg/dm <sup>3</sup> ]	KSS-Gehalt [Gew. %]	Wassergehalt [Gew. %]	Ölgehalt [Gew. %]
Frässpäne I	0,870	1,1	-	1,1
Sägespäne II	0,617	15,8	13,7	2,1
Sägespäne III	1,208	5,7	3,9	1,8
Sägespäne IV	0,427	5,1	4,7	0,4



## Schüttdichte und Öl-/Wassergehalte unterschiedlicher Spansorten

Bild 4

	Dampf	Wasser- temperatur	Stufenzahl	Wasser- verbrauch	Tensid- gehalt	Schütt- dichte	Ausgangs- ölgehalt	Restöl- gehalt	Reinigungs- erfolg
Einheit	-	°C	-	kg Wasser/ kg Späne	Gew.% (bzg. auf Späne)	kg/m <sup>3</sup>	Gew.%	Gew.%	%
Frässpäne I	nein	65	1	0,4	-	870	0,2	0,02	93
Sägespäne II	nein	65	1	1	0,5	620	1,2	0,09	93
Sägespäne II	ja	100	2	1	-	620	1,2	0,13	89
Sägespäne II	ja	100	1	1	0,5	620	1,2	0,09	93
Sägespäne II	ja	100	1	0,5	0,25	620	2,1*)	0,08*)	96
Sägespäne III	nein	65	1	0,8	-	1210	2,8	1,7	41
Sägespäne III	ja	100	1	1	-	1210	2,8	1,4	50

\*) IR-Bestimmung in Anlehnung an DIN 38409 H18

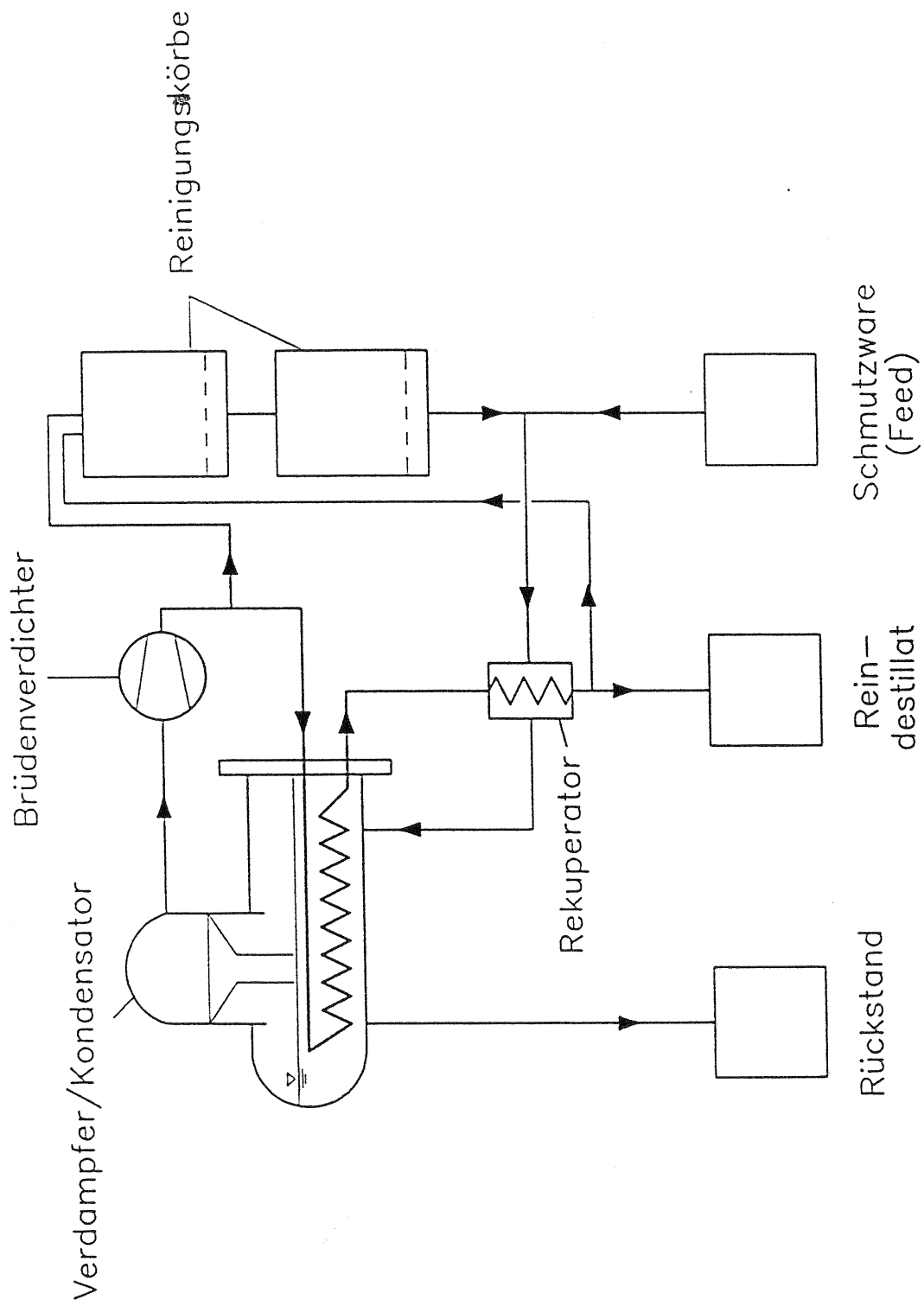


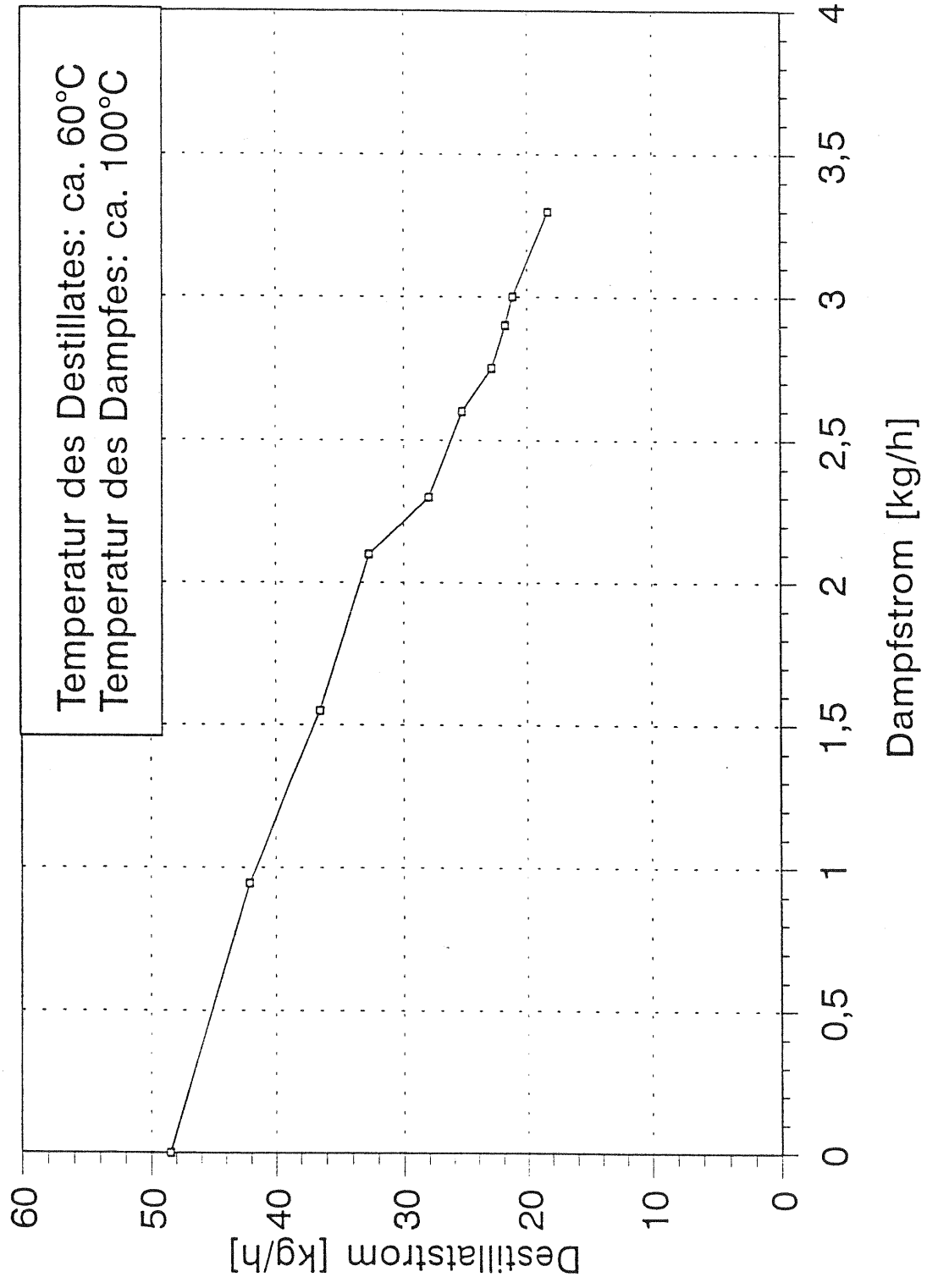
## Auszug aus den Ergebnissen der Laborversuche

Bild 5

## Technikumsanlage mit Reinigungsbehältern zur Spanentölung

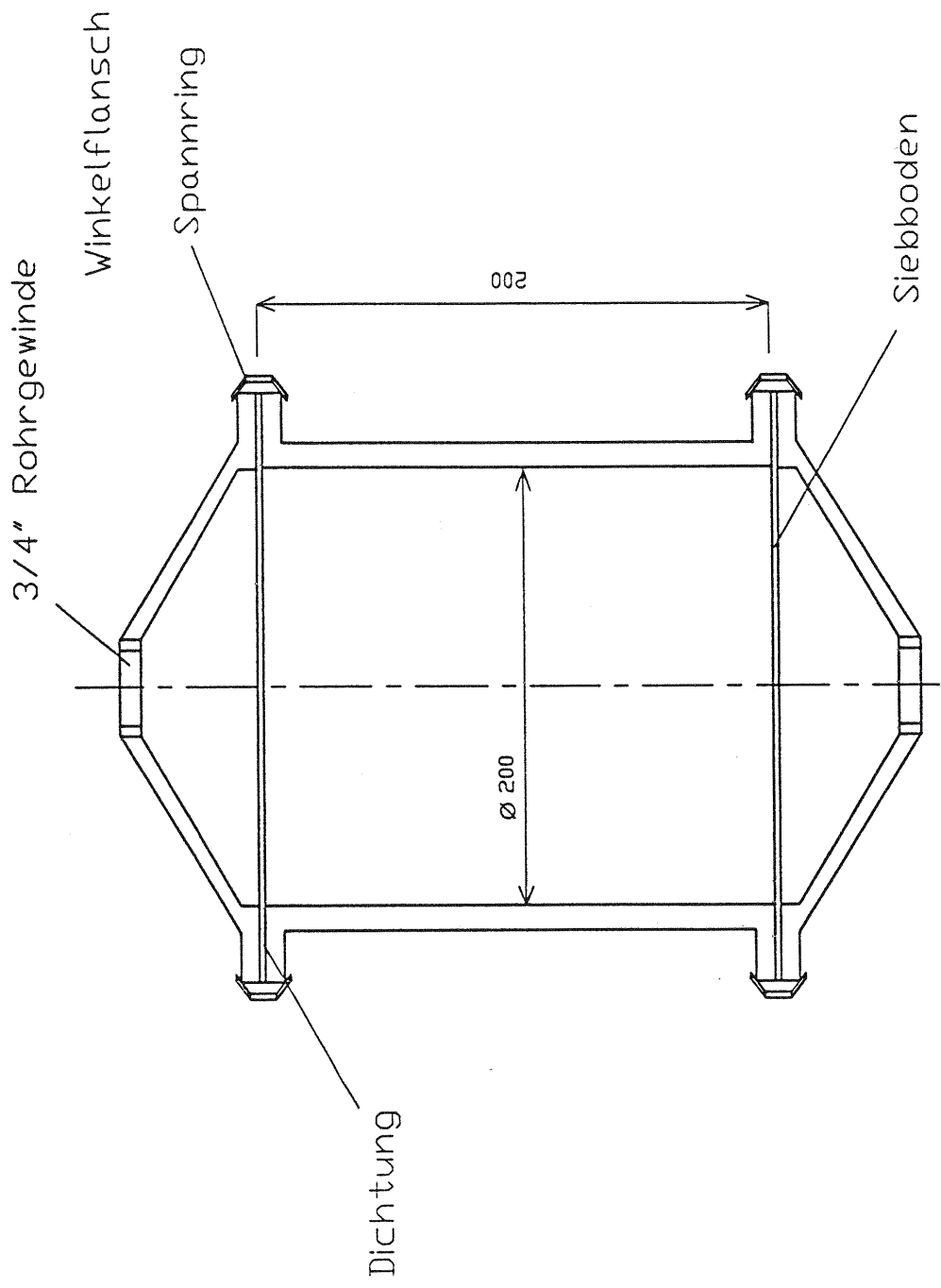
Bild 6





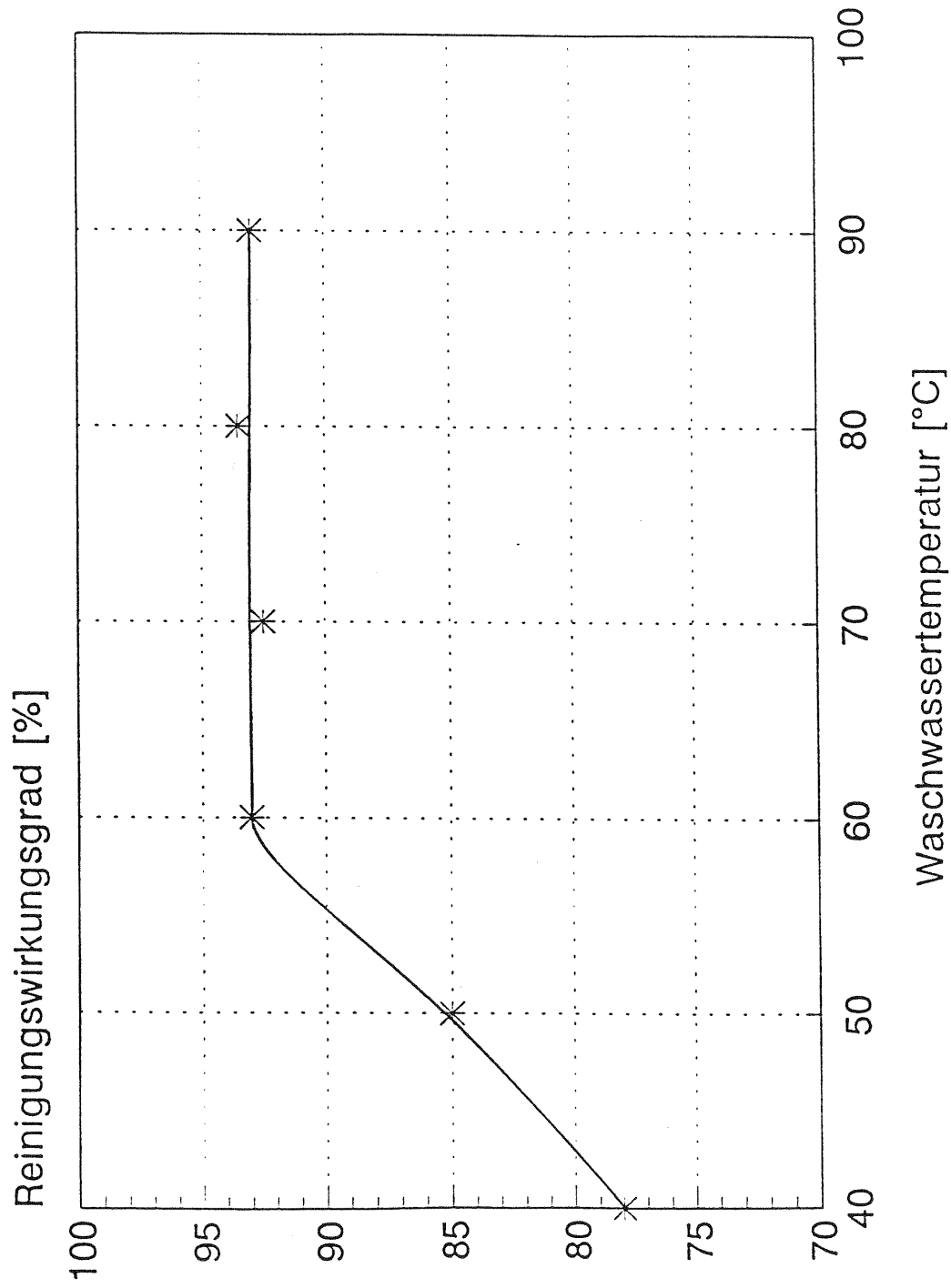
**Massenströme der Vacudest-Anlage bei Betrieb mit  
 VE-Wasser (ohne Zusatzheizung)**





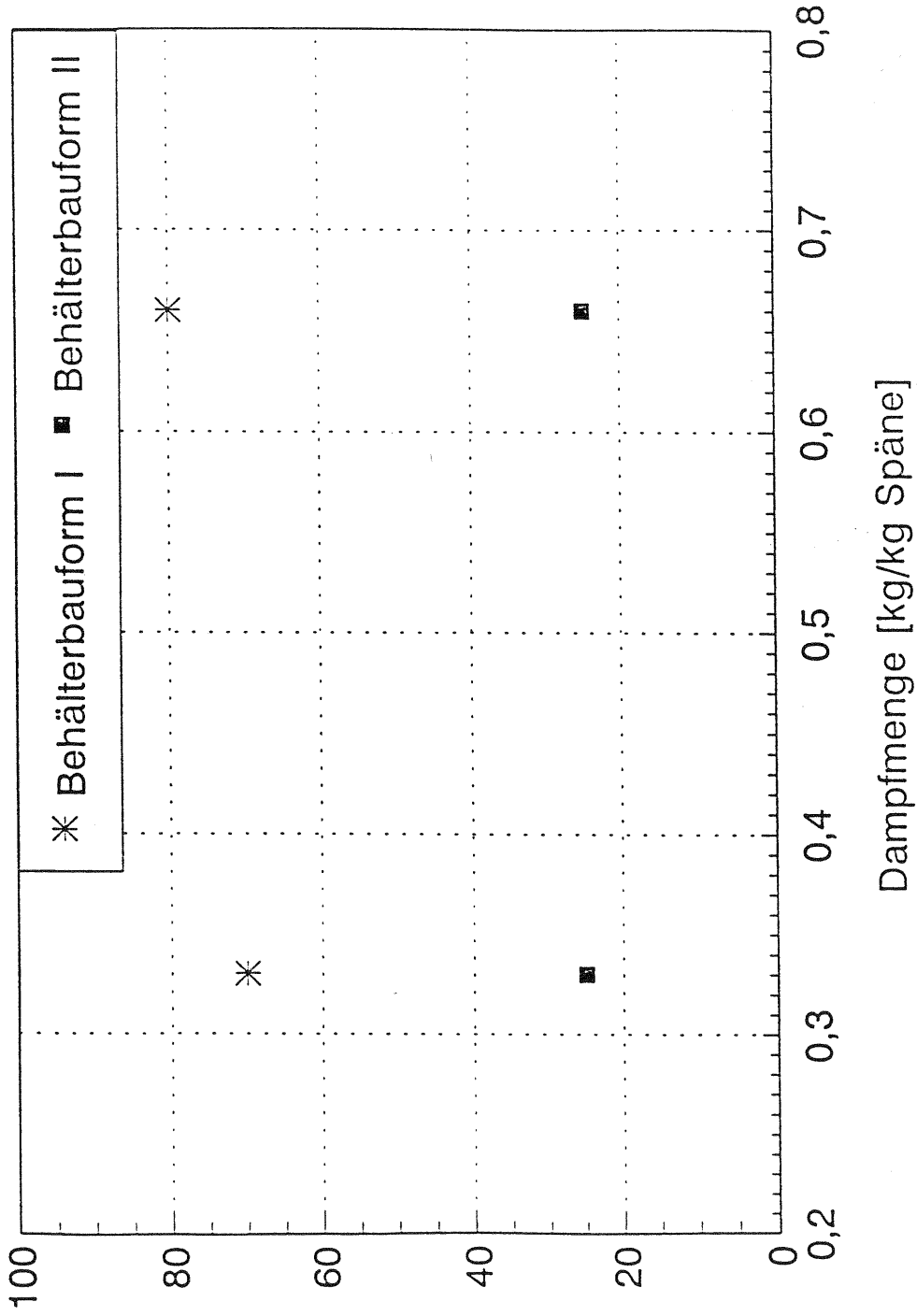
**Aufbau der Spänereinigungsbehälter:  
breite Behälterbauform II**

**Bild 8**



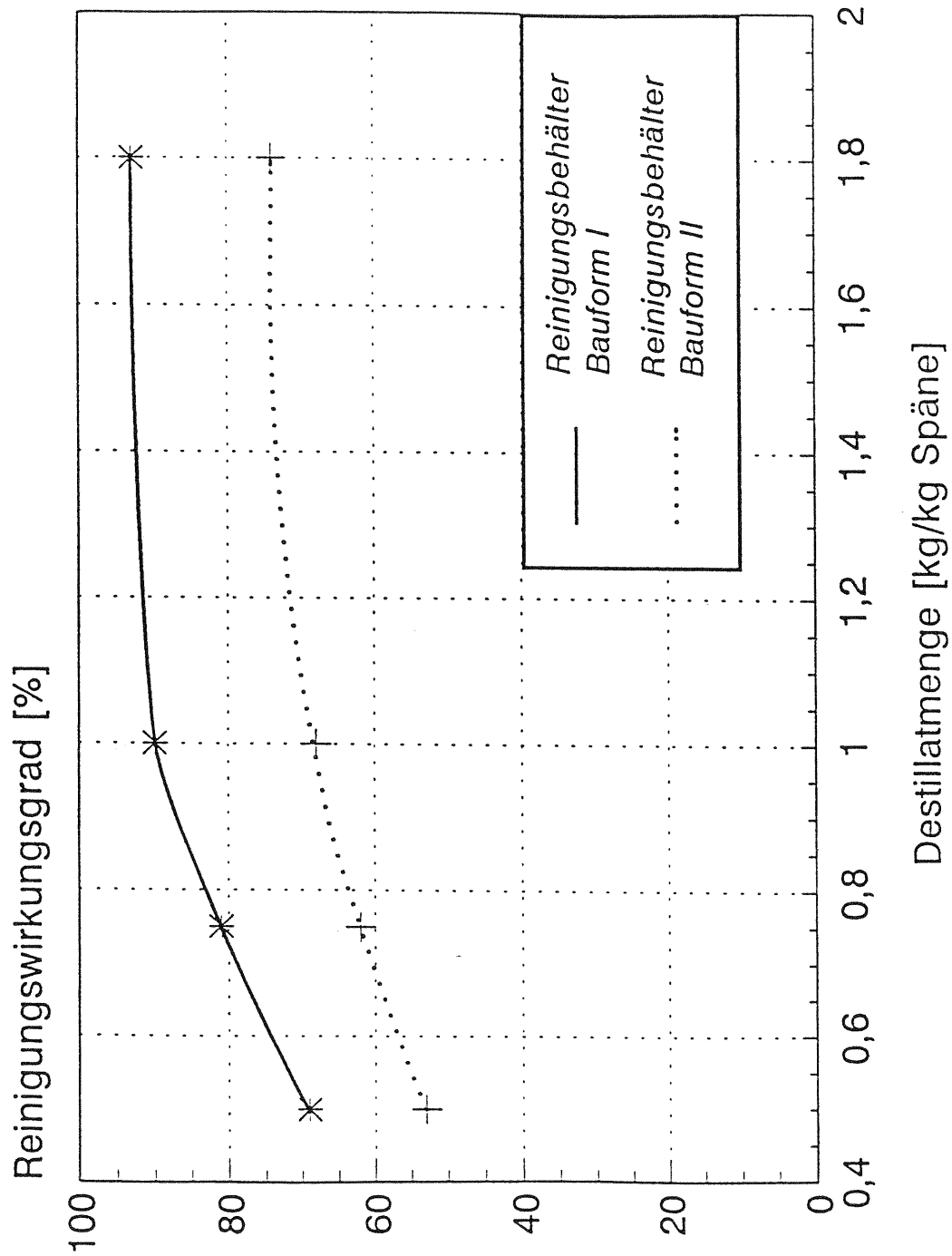
Abhängigkeit des Reinigungswirkungsgrades  
von der Waschwassertemperatur

Reinigungswirkungsgrad [%]



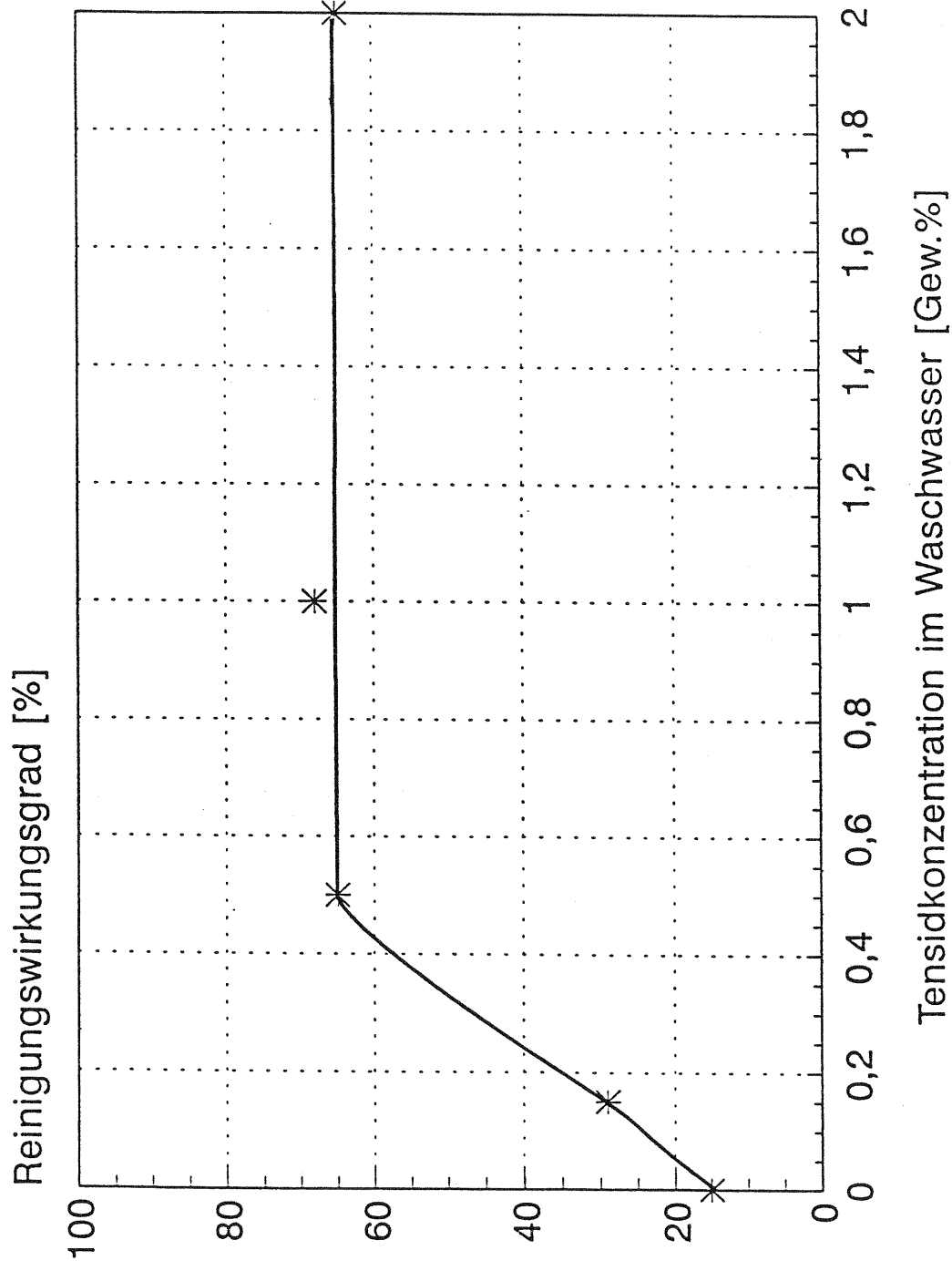
Abhängigkeit des Reinigungswirkungsgrades  
von der eingesetzten Dampfmenge

Bild 10



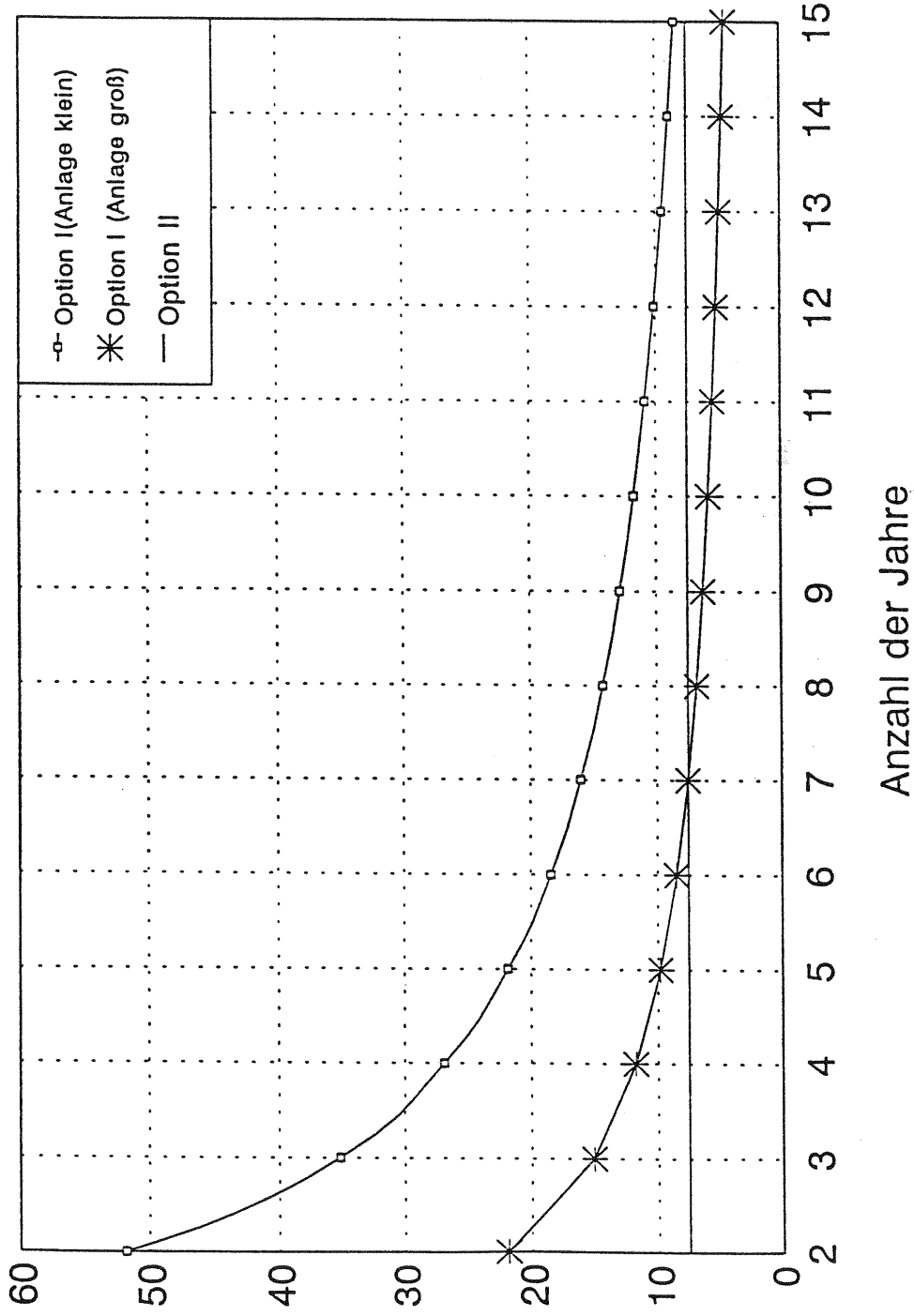
Abhängigkeit des Reinigungswirkungsgrades von der eingesetzten Destillatmenge





Abhängigkeit des Reinigungswirkungsgrades von der Tensidkonzentration im Waschwasser

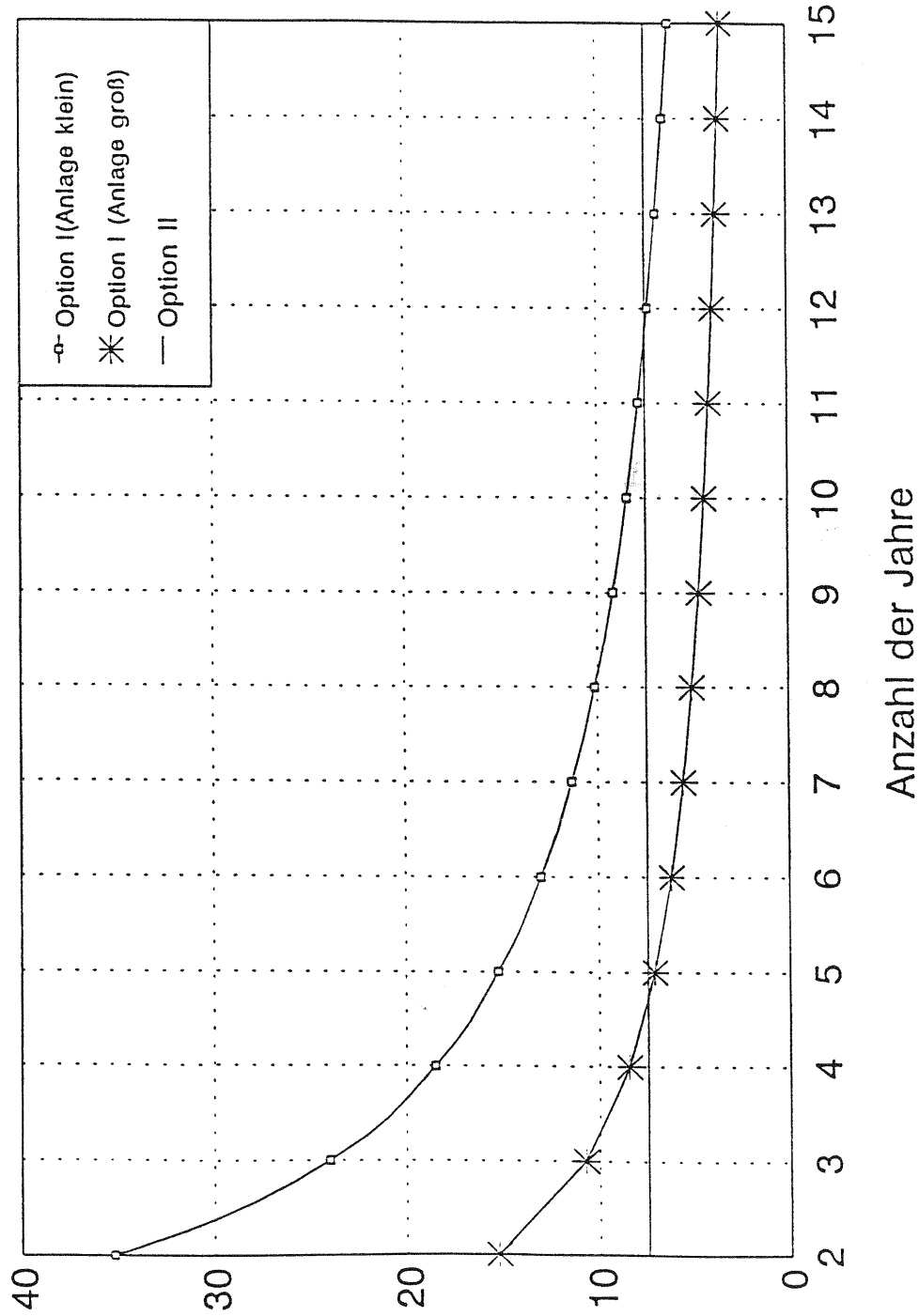
Zusatzkosten [Pf/kg Späne]



Abhängigkeit der Zusatzkosten von der Betriebszeit  
bei einer Auslastung von 8 Stunden pro Tag

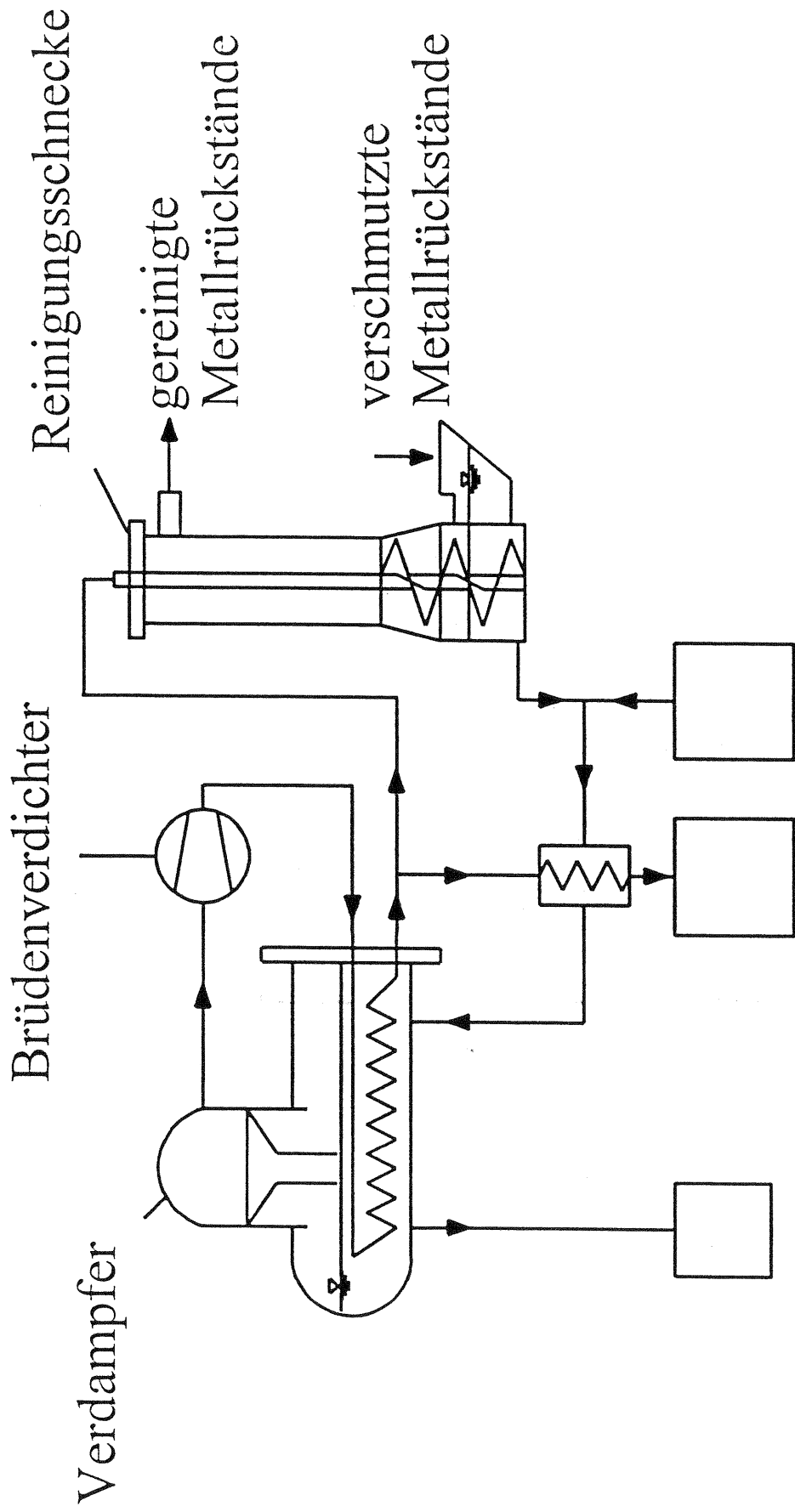
Bild 13

Zusatzkosten [Pf/kg Späne]



Abhängigkeit der Zusatzkosten von der Betriebszeit  
bei einer Auslastung von 12 Stunden pro Tag

Bild 14



**Integration einer Reinigungsförderschnecke in das  
Konzept der Aufbereitung von wäßrigen  
Reststoffen mit gleichzeitiger Spanentölung**



## Bestimmung des Ölgehaltes der Späne mittels GC/FID

### Analysenbedingungen:

Probenmenge:	ca. 30 g Späne 30 - 60 g Aceton als Lösemittel
Geräte:	GC/FID: GC-14A/C-R4A Chromatopac von Shimadzu Säule: WCOT Fused Silica 50m x 0,25 mm ID, Coating CP-Sil 8CB, DF=0,25
GC-Bedingungen:	Temperatur der Säule: 40°C 5 Minuten 15 °C/min. 250°C 35 Minuten Temperatur Injektor: 220°C Temperatur Detektor: 270°C Trärgas: Helium 5.0 Säulenvordruck: 1,9 - 2,0 bar Split: 50 ml/min

## Kostenbetrachtungen

### Beispiel 1: Betrieb des Schrotthandels mit Spänereinigungsmaschine

IUTA-Aufbereitungsverfahren bei 4000 t Späne pro Jahr (d.h. 2,5 t/h)

#### Investitionskosten:

Waschwasseraufbereitung: (Wasserbedarf von 0,2 kg Wasser / kg Späne) 2 Verdampfer à 240 l/h à 170.000 DM	340 TDM
Spänereinigungsanlage 3 Anlagen à 850 kg Späne/h à 15.000 DM	45 TDM
Zusatzbedarf (Behälter, Automatisierung etc.)	50 TDM
	<hr/> <hr/>
Gesamt:	435 TDM

Eine Abschreibung auf 7 Jahren und 10 % Kapitaldienst bedeutet einen jährlichen Aufwand von ca. **68 TDM/Jahr**.

#### Jährliche Betriebskosten:

Energie:	bei 90 Wh/Liter Wasser und 500 Liter/h folgen 45 kWh/h bei 1600 Betriebsstunden im Jahr und 0,20 DM/kWh ergibt sich ca.	15 TDM
Entsorgung:	bei 1 % Öl auf den Spänen fallen 40 t reines Öl im Jahr zur Entsorgung bei ca. 1200 DM/t	48 TDM
Personal:	1 Mann à 60.000 DM/a	60 TDM
		<hr/> <hr/>
Gesamtbetriebskosten im Jahr		123 TDM

Insgesamt fallen jährliche Kosten in Höhe von 191 TDM an. Bei einem Späneanfall von 4000 t/a ergibt sich somit ein Bedarf von ca. **48 DM/t Späne**. Bei zusätzlichem Tensideinsatz kommen ca. 15 DM/t Späne hinzu.

## Kostenbetrachtung

### Beispiel 1: Betrieb des Schrotthandels ohne Spänereinigungsanlage

#### “Aufbereitung” / Lagerung mit hohem Aufwand für Bodenschutz

##### Investitionskosten:

Bodendrainage, Halle, Abwasserbehandlung etc.

Gesamt: 500 TDM

Eine Abschreibung auf 7 Jahren und 10 % Kapitaldienst bedeutet einen jährlichen Aufwand von ca. 79 TDM/Jahr.

##### Jährliche Betriebskosten:

Abwasserbehandlung und Entsorgung der Rückstände 25 TDM

Personal: 0,5 Mann à 60.000 DM/a 30 TDM

Gesamtbetriebskosten im Jahr 55 TDM

Insgesamt fallen jährliche Kosten in Höhe von 134 TDM an. Bei einem Späneanfall von 4000 t/a ergibt sich somit ein Bedarf von ca. 34 DM/t Späne.

## Kostenbetrachtungen

### Beispiel 2: Metallverarbeitender Betrieb mit Spänereinigung und Aufbereitung wäßriger Reststoffe

Späneanfall: 250 kg/h (2-Schicht Betrieb: 16 h/d)  
Anfall KSS-Emulsion: 50 m<sup>3</sup>/Jahr

#### Investitionskosten:

Waschwasseraufbereitung:

(Wasserbedarf von 0,2 kg Wasser / kg Späne)

1 Verdampfer à 50 l/h à 55.000 DM 55 TDM

Spänereinigungsanlage

1 Anlage à 250 kg Späne/h à 15.000 DM 15 TDM

Zusatzbedarf (Behälter, Automatisierung etc.) 50 TDM

---

---

Gesamt: 120 TDM

Eine Abschreibung auf 7 Jahren und 10 % Kapitaldienst bedeutet einen jährlichen Aufwand von ca. 19 TDM/Jahr.

#### Jährliche Betriebskosten:

Energie: bei 90 Wh/Liter Wasser und 50 Liter/h folgen  
4,5 kWh/h bei 3520 Betriebsstunden im Jahr  
und 0,20 DM/kWh ergibt sich ca. 16 TDM

Entsorgung: bei 1 % Öl auf den Spänen fallen 8,8 t reines Öl  
im Jahr zur Entsorgung bei ca. 1200 DM/t 11 TDM

---

---

Gesamtbetriebskosten im Jahr 27 TDM

Insgesamt fallen jährliche Kosten in Höhe von ca. 46 TDM an. Bei einem Späneanfall von 880 t/a ergibt sich somit bei reinem Spänereinigungsbetrieb ein Bedarf von ca. 52 DM/t Späne.

## **Aufbereitung von 50 m<sup>3</sup> Altemulsion**

(jeweils über Nacht oder in betriebsfreien Zeiten)

Bei Anfall von 50 m<sup>3</sup> Altemulsion können durch die Aufbereitung ca. 700 DM/t Entsorgungskosten eingespart werden, d.h. ca. 35 TDM pro Jahr.

Demnach fallen pro Jahr etwa 16 TDM Kosten an, d.h. die Aufbereitungskosten für eine Tonne Späne liegt dann bei 12 DM.