Metallbe- und -verarbeitung;

Abfall- und Kosteneinsparung: Kein Widerspruch!

am 30. November 1999 in Stuttgart-Weilimdorf

Veranstalter:
ABAG-itm - Gesellschaft für innovative Technologie- und Managementberatung mbH
Ein Unternehmen im Verbund der Steinbeis-Stiftung
Stauferstr. 15, 70736 Fellbach

Tel.: 0711/ 95 19 11 – 0
Fax: 0711/ 95 19 11 – 20
e-mail: info@abag-itm.de

Inhaltsverzeichnis

Umweltbezogene Kostenaspekte in der Metallbearbeitung
Stoffstrommanagement, ganzheitliche Betrachtung
Hermann Kißler, ABAG-itm, Fellbach

Kühlschmierstoffe haben Potentiale
Produktauswahl, Standzeitverlängerung, Rückführung, innerbetr. Aufarbeitung
Martin Zimmermann, Zimmermann Dokumentation & Verfahrenstechnik, Öhringen

Umweltgerechter Einsatz von Erodieranlagen
Draht- und Senkerodieren, Verfahren, neue Technologien, Kostenbetrachtungen
Dr. Manfred Storr, Oel-Held, Stuttgart

Verfahrensoptimierung beim Gleitschleifen
Kreislaufführung, Einsparung von Hilfsstoffen, Abwasserreduzierung
Ulrich Siemers, Reitter & Schefenacker, Schwaikheim

Schleif- und Bearbeitungsschlämme
Prozeßoptimierung, innerbetr. Behandlung, Verwertungsoptionen
Thomas Ritzenfeldt, GETRAG, Ludwigsburg

Ölhaltige Schleifschlämme
Externe Behandlungs- und Verwertungsmöglichkeiten
Claus Bohling, RES Oesterreich, Geesthacht

Lackieren von Metallteilen
Beschichtungsprozesse, VOC- und Abfallreduzierung, manuelle und automatische Lackierung von Fe- und NE-Metall-Teilen
Thomas Grupp, ABAG-itm, Fellbach

Referentenliste:

für das Seminar Metallbe- und –verarbeitung am 30. November 1999 in Stuttgart-Weilimdorf

Dipl.-Ing. Hermann Kißler
ABAG-itm GmbH
Stauferstr. 15
70736 Fellbach
Tel.: (0711) 951911-18

Dipl.-Ing. Martin Zimmermann
Zimmermann GmbH
Pfaffenmühlweg 2
74613 Öhringen
Tel.: (07941) 9165-2

Dr. Manfred Storr
Oel-Held
Ulmer Straße 135
70188 Stuttgart
Tel.: (0711) 16863-18

Ulrich Siemers
Reitter & Schefenacker GmbH & Co. KG
Alfred-Schefenacker-Str. 1
71409 Schwaikheim
Tel.: (07195) 581-0

Thomas Ritzenfeldt
GETRAG
Hermann Hagenmeyer GmbH & Cie.
Solitudeallee 24
71636 Ludwigsburg
Tel.: (07141) 994-508

Dipl.-Ing. Claus Bohling
RES Oesterrich GmbH & Co. KG
Steinstraße 49-55
21502 Geesthacht
Tel.: (04152) 8466-0

Thomas Grupp
ABAG-itm GmbH
Stauferstr. 15
70736 Fellbach
Tel.: (0711) 95 19 11-18

Umweltbezogene Kostenaspekte in der Metallbearbeitung
Stoffstrommanagement, ganzheitliche Betrachtung

Hermann Kißler, ABAG-itm GmbH, Fellbach-Schmiden

Umweltbezogenen Kostenaspekte in der Metallbearbeitung

Hermann Kißler, ABAG-itm GmbH, Fellbach

1) Einleitung

Das Tätigkeitsfeld der 1991 als ABAG Abfallberatungsagentur vom Land Baden-Württemberg gegründeten und seit 1.1.1999 als privatwirtschaftlich organisierten ABAG-itm GmbH hat sich mit den Veränderungen des Umfelds ebenfalls gewandelt. Die Entsorgungssituation hat sich grundlegend von stetig ansteigendem Sonderabfallaufkommen, großer Abhängigkeit von Abfallexporten sowie andererseits noch erheblichen Abfallreduzierungspotenzialen Ende der 80-iger Jahre hin zum heutigen, geprägt von sinkendem Abfallaufkommen und Anlagenüberkapazitäten in vielen Bereichen gewandelt.

Schwerpunkt ist nach wie vor die betriebliche Beratung zur Optimierung von Produktionsprozessen unter ganzheitlichen, d.h. technischen, ökologischen und ökonomischen Aspekten. Der Bereich der Metallbe- und -verarbeitung war bei der ABAG-itm von Beginn an ein Kernbereich. Für die aus diesem Sektor bedeutendsten Abfallarten Kühlschmierstoffe (KSS), Lösemittel und Schleifschlämme wurden VVV-Konzepte (Vermeidung, Verminderung, Verwertung) entwickelt, die neben den ökologischen Aspekten insbesondere ökonomische Ansprüche berücksichtigen. Produktionsintegrierten Technologien wird dabei Vorrang gegenüber den, gesamtheitlich betrachtet meist auch wirtschaftlich unterlegenen, additiven Maßnahmen eingeräumt.

Bisher waren die Ansätze zur Verbesserung der betrieblichen Umweltsituation in Deutschland vorwiegend auf additive Verfahren ausgerichtet, womit bis heute schon erhebliche Erfolge erzielt werden konnten. Hierbei handelt es sich jedoch um Technologien, die als nachgeschaltete Maßnahme installiert werden, ohne jedoch die Abfallentstehung im eigentlichen Bearbeitungsprozess zu beeinflussen.

Derzeit nahezu noch ungenutzte Potenziale bestehen mit prozessintegrierten Technologien, die neben der Produktivitätssteigerung auch noch eine Verbesserung der betrieblichen Umweltsituation zum Ziel haben. Als Beispiele hierfür sind Trockenbearbeitung und Minimalmengen-Kühlschmierung (MMKS) inzwischen bekannte Anwendungen. Ihre Umsetzung verlangt jedoch, ebenso wie die Einführung neuer Fertigungstechnologien, eine ganzheitliche Vorgehensweise. Die grundsätzliche Infragestellung konventioneller Zerspanungstechnologien zur Formgebung steht dabei am Anfang eines solchen Entscheidungsprozesses, in den alle Beteiligten (z.B. Einkauf, Maschinenhersteller, Hilfsstoff-Lieferant, Produktion, Entsorger) sowie alle betrieblichen Aspekte der Produktionskette einbezogen werden müssen.
Der Einsatz oder auch der Verzicht von Hilfs- und Betriebsstoffen haben nicht nur direkte Auswirkungen auf den jeweiligen Prozess, sondern oft auch auf die Folgeprozesse. So kann z.B. die richtige KSS-Auswahl Reinigungsprozesse zwischen verschiedenen Bearbeitungsstufen überflüssig machen oder auch gleich einen geforderten temporären Korrosionsschutz mitliefern. Solche Effekte sind auch bei einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit einzubeziehen und übertreffen in vielen Fällen die vordergründigen Resultate.

2) Transparente Kostenerfassung

Umweltrelevante Maßnahmen werden in der Regel nur dann realisiert, wenn sie auch betriebswirtschaftlich interessant sind. Eine transparente Kostenerfassung ist Voraussetzung dafür, daß alle mit einer Maßnahme tangierten Auswirkungen auch erfasst und kostenmäßig bewertet werden können. Gerade umweltbezogene Kosten wie z.B. Entsorgungskosten, Kosten für die Abluftreinigung usw. werden in den meisten Betrieben nur pauschal erfasst und im Rahmen von Gemeinkosten auf die einzelnen Abteilungen umgelegt. Oft entsteht der Aufwand und damit auch die Kosten in Form von Prozess- oder Personalkosten auch gar nicht direkt beim „Entstehungsprozess", sondern erst bei Folgeprozessen oder in Nebenprozessen, so dass der Zusammenhang erst bei genauerer Prozessanalyse deutlich wird.

Als Beispiel sei hier die spanende Metallbearbeitung unter Einsatz von Kühlschmierstoffen herangezogen.
Erst eine Zusammenstellung aller mit dem Einsatz von Kühlschmierstoffen bedingten Investitionen, der Aufwand zur KSS-Pflege, Ver- und Entsorgung, die Energiekosten sowie umweltbedingte (unter Einbeziehung der Arbeitssicherheit) Folgekosten macht deutlich, was für ein Kostenblock hier zur Diskussion steht. In den wenigsten Unternehmen werden die KSS-bedingten Kosten in ihrer vollen Bandbreite erfasst und dokumentiert. Anhaltspunkte, um welche Größenordnungen es sich hier handelt, liefert eine Untersuchung des statistischen Bundesamts der BRD. Demnach belaufen sich die KSS-bedingten Kosten in der spanenden Serienfertigung auf ca. 8 bis 16 %. Das entspricht einem Mehrfachen der mit ca. 4 % ermittelten Werkzeugkosten.

Gemäß diesen Erhebungen stellen die wesentlichsten Anteile nicht nur die Beschaffungs- und Entsorgungskosten (ca. 36 %) für die Kühlschmierstoffe dar, sondern mit ca. 40 % die Investitionen, d.h. die erforderlichen Anlagenkosten zur Maschinenversorgung sowie zur Pflege (z.B. Filtrierung und Entfernung von Fremdölen) und Überwachung insbesondere bei wassergemischten Kühlschmierstoffen. Die erforderlichen Personalkosten sind stark von den Bearbeitungsverfahren, den eingesetzten KSS-Arten und den betrieblichen Randbedingungen abhängig. Je nach Automatisierungsgrad fließen hier Aufwendungen zur Ver- und Entsorgung, Pflege, Überwachung und die nicht zu unterschätzenden Reinigungsarbeiten an Maschinen, Böden bis hin zum gesamten Produktionsbereich ein. Weitere Aspekte wie z.B. die Arbeitsplatzqualität und in vielen Fällen auch krankheitsbedingte Kosten (Haut, Atemwege) sind ebenfalls einzubeziehen, lassen sich aber oft nur schwer erfassen. Nicht nur der primär betroffene Prozess (hier die spanende Bearbeitung), sondern auch die Auswirkungen auf die Folgeprozesse bei prozessintegrierten Maßnahmen müssen in die Betrachtung mit einbezogen werden. So kann z.B. die Realisierung der Trockenbearbeitung den möglichen Verzicht einer nachgeschalteten Reinigungsstufe bedeuten.

Der Aufwand zum betrieblichen Umgang und Einsatz von KSS wird teilweise auch von rechtlichen Randbedingungen wie Gesetzen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz mit den dazugehörigen Verordnungen, Wasserrecht, Imissionsschutzgesetz), Verordnungen u. Verwaltungsvorschriften (z.B. VAwS) beeinflusst.
Dies betrifft z.B.:

- Investitionen (z.B. erforderlicher Brandschutz bei KSS-Ölen, Bodenschutz beim Einsatz wassergefährdender Stoffe usw.)
- den Aufwand zur Überwachung und Pflege (z.B. TRGS 611 für wassergemischte KSS)
- Lagerungs- und Transportkosten (z.B. Transportvorschriften)
- Entsorgungskosten (z.B. Vorschriften f. Entsorgungsbetriebe, Andienungspflichten, Abfallabgaben)

Die aufgeführten Kostenfaktoren und Einflüsse sind damit auch die treibenden Kräfte, die zum zwischenzeitlich erreichten Stand und der Weiterentwicklung umweltgerechterer Produktionsprozesse führen.

3) Stoffstrombetrachtung als Hilfsinstrument

In vielen Unternehmen müssen vorab interne organisatorische Voraussetzungen geschaffen werden, um integrierte Umwelttechniken erfolgreich anwenden zu können. Die Stoffstrombetrachtung als Vorstufe zum Stoffstrommanagement kann hier ein gutes Hilfsinstrument sein.
In den meisten Betrieben sind zumindest die Stoffströme (Input und Output) auf Betriebsebene sowohl in Bezug auf die Mengen, als auch bezüglich der Kosten bekannt und dokumentiert. Die Aufsplittung über die Bereichsebene auf die Anlagenebene liefert eine wertvolle Informationsbasis mit der sich Optimierungsmaßnahmen mit ihren gesamtheitlichen Auswirkungen beurteilen und bewerten lassen.
Das Beispiel eines KSS-Systems zur Versorgung eines Bearbeitungsprozesses zeigt, welche Teilströme von prozessintegrierten Maßnahmen tangiert werden. Die jeweiligen Auswirkungen lassen sich damit bereits im Vorfeld erfassen und bewerten, so dass eine zusammenfassende Beurteilung der einzelnen Maßnahmen ermöglicht wird. Dabei wird deutlich, dass beispielsweise Veränderungen am KSS-

System (z.B. eine Umstellung von KSS-Emulsionen auf KSS-Öle) Auswirkungen auf alle Teilströme, die aus dem System herausführen haben: Es verändert sich nicht nur der zur Entsorgung gelangende Teilstom „verbrauchte KSS" sondern über die Anhaftungen der KSS an Werkstücken, Spänen und gegebenenfalls auch Schleifschlämmen die Qualität dieser Teilstöme und bedingt damit verbundene Vor- oder Nachteile.

4) Gesamtheitliche Prozessbetrachtung

Eine gesamtheitliche Prozessbetrachtung beinhaltet alle Aspekte eines Herstellungssprozesses inklusive der zugehörigen Folge- und Nebenprozesse. Die Einbeziehung z.B. von Energieverbräuchen, Aspekten des Arbeitsschutzes, Lärmemissionen usw. vervollständigen die technologischen Kriterien der Prozessbeurteilung um die Merkmale eines integrierten Umweltschutzes:

- Quellen-/ursachenbezogen
- Veränderung von Produkten und Prozessen
- höhere Material- und Energieeffizienz
- prozessintegriertes Recycling
- Substitution schädlicher Stoffe, Produkte und Prozesse

Die auf diese Weise erkennbaren und erzielbaren Effekte übertreffen in vielen Fällen die vordergründigen Kosten.

5) Vorteile prozessintegrierter Maßnahmen

Der industrielle Umweltschutz in Deutschland ist nach wie vor geprägt von vorwiegend additiven Maßnahmen. Der eigentlichen Produktionsanlage nachgeschaltete technische Aggregate minimieren die Emission schädlicher Stoffe: Filter, Katalysatoren, Abscheider, ... eine ganze Palette hochwirksamer, an den Umweltstandards orientierte Verfahren steht zur Verfügung. Sie haben in den letzten Jahrzehnten wesentlich zur Verbesserung der Umweltsituation in Deutschland beigetragen. Doch additive Maßnahmen benötigen auch zusätzliche Ressourcen und Energie. Darüber hinaus können end-of-pipe-Maßnahmen zu Problemverlagerungen in

andere Umweltbereiche führen, so wird z. B. das Abwasser- zum Abfallproblem. Und vor allem: additive Maßnahmen bedeuten in der Regel auch additive Kosten.

Die nachfolgenden beispielhaften Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sollen vergleichend die Auswirkungen unterschiedlicher Maßnahmen unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten aufzeigen. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass eine längerfristig orientierte Betrachtungsweise unter Einbeziehung prozessintegrierter Maßnahmen große Vorteile aufweist und damit auch einen Beitrag zur langfristigen Unternehmenssicherung leistet.

Beispiel 1: Einsatz einer innerbetrieblichen Emulsionsspaltanlage

Fallen in einem Betrieb große Mengen verbrauchter KSS-Emulsionen an, so kann sich der Einsatz einer innerbetrieblichen Emulsionsspaltanlage ab ca. 200 m^3/a durchaus rechnen. Den einzusparenden Entsorgungskosten müssen Anlageninvestitionen, Personal- und Betriebskosten entgegengesetzt werden. Bei dieser rein additiven Maßnahme stehen dem zusätzlichen Aufwand keine weiteren betrieblichen Verbesserungen entgegen.

Beispiel 2: Überwachung und Pflege bei wassergemischten KSS.

Durch ein gesamtheitliches Maßnahmenpaket können mit dem Schwerpunkt Standzeitverlängerung je nach Ausgangslage erhebliche Verbesserungen, sowohl in ökonomischer als auch in ökologischer Hinsicht erzielt werden:

Ein metallverarbeitender Betrieb der Elektrobranche hatte bei seinen 23 einzelversorgten Maschinen (KSS-Emulsion auf Mineralölbasis) Badstandzeiten von nur ca. vier Wochen. Es wurden keine Pflegemaßnahmen durchgeführt. Die Entsorgungsmengen addierten sich ursprünglich auf ca. 45 m^3/a. Zudem bestanden bei einigen Mitarbeitern kontinuierlich Probleme mit Hauterkrankungen.

Zur Verbesserung der Gesamtsituation wurden folgende Maßnahmen ergriffen:

- Einsatz einer stabileren KSS-Emulsion nach Absprache mit dem KSS-Hersteller (ebenfalls auf Mineralölbasis),
- Überwachung der wichtigsten KSS-Parameter (Konzentration, pH, Nitrit, Keimbelastung),

- Anschaffung einer mobilen Pflegeanlage (Drei-Phasen-Lamellenseparator mit Vorfiltration),
- Schulung und Information der Mitarbeiter.

Inzwischen konnten mit diesem Maßnahmenpaket zusammenfassend folgende Ergebnisse erzielt werden:

- die Badstandzeit hat sich auf ca. sechs Monate verlängert,
- es bestehen keine Probleme mit Hauterkrankungen mehr,
- die Entsorgungsmenge reduzierte sich auf ca. 6 m^3/a (Verwertung in Zweitölraffinerie).

Insbesondere durch die Verbesserungen bei der Arbeitshygiene haben sich die Maßnahmen bereits innerhalb eines Jahres amortisiert.

Beispiel: Einführung von Trockenbearbeitung/MMKS

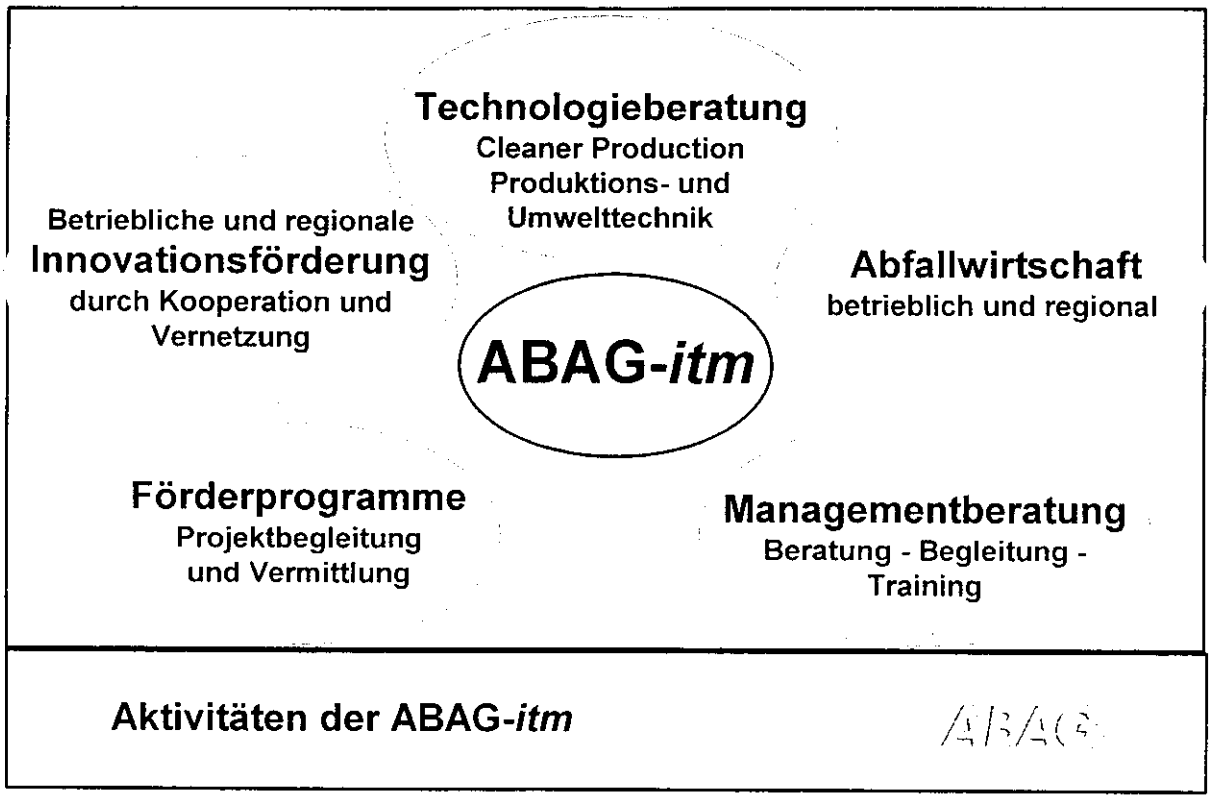
Durch die Weiterentwicklungen im Werkzeugbereich (Werkstoffe, Beschichtungen, Geometrie) stellt inzwischen weniger der eigentliche Zerspanungsprozess, sondern die noch nicht allgemein verfügbare Technologie zur Späneentfernung und ein trockenbearbeitungsfähiges Maschinenkonzept das Hauptproblem bei der breiten Umsetzung der Trockenbearbeitung/MMKS dar. Um beispielhaft die Umstellung einer kompletten Fertigung auf Trockenbearbeitung zu unterstützen und die Gesamtheit der dabei zu beachtenden Aspekte zu dokumentieren, begleitet die ABAG-itm dieses Modellprojekt. In einem messingverarbeitenden, mittelständischen Betrieb wird hierzu unter Beibehaltung des bisherigen Produktionsstandortes, also kein Neubau „auf der grünen Wiese", ein Produktionsbereich vollständig auf Trockenbearbeitung umgestellt. Projektschwerpunkt ist die bilanzielle Gegenüberstellung aller KSS-bedingten Auswirkungen und Kosten bei der bisherigen Bearbeitung mit KSS (Öl) im Vergleich mit den ebenfalls zu erfassenden ökologischen und ökonomischen Aspekten bei realisierter Trockenbearbeitung. Hierzu wurde die IST-Situation für den Gesamtbetrieb sowie für wesentliche Arbeitsprozesse (Sägen, Drehen, Bohren, Fräsen, Räumen) aufgenommen, um sie dann nach Verfahrensumstellung erneut zu erfassen und gegenüber zu stellen.

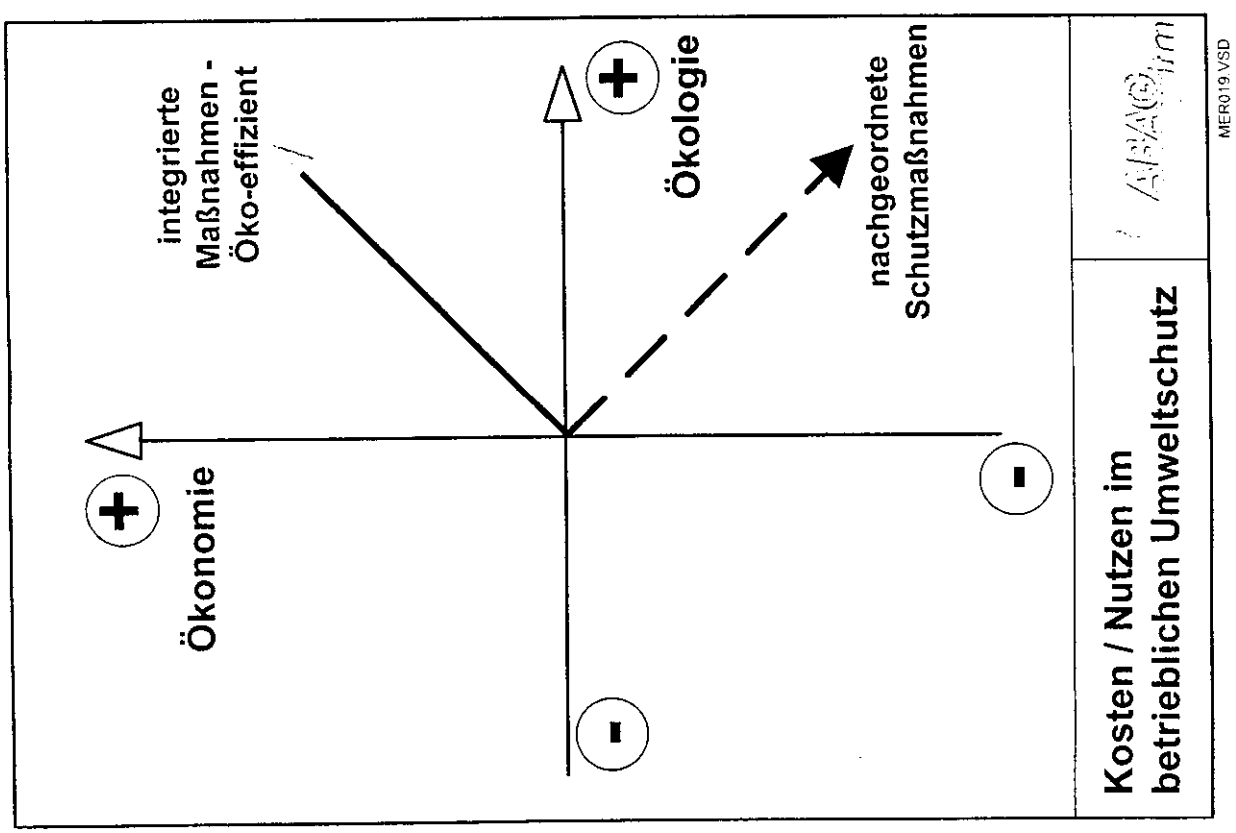
Neben der Weiterentwicklung der Technologie und der zugehörigen Logistik sollen mit diesem Projekt interessierten Unternehmen Ergebnisse und Erfahrungen zur gesamtheitlichen Bewertung einer Umstellung auf Trockenbearbeitung, auch bei anderen Werkstoffen und Bearbeitungsverfahren, zur Verfügung gestellt werden. Gelingt die Umstellung eines kompletten Fertigungsbereichs (langfristig soll die gesamte Produktion trocken erfolgen), so kommen die gesamtheitlichen Vorteile der Trockenbearbeitung erst richtig zum Tragen. Einige Prozessstufen, wie z.B. die Teilezentrifuge zur Abtrennung und Rückführung der ausgeschleppten KSS-Anteile oder die Entfettungsanlage können dann komplett entfallen. Parallel dazu erwartet man eine deutliche Verbesserung der Arbeitsplatzqualität (kein Hantieren mehr mit öligen Teilen und Spänen) und verbesserte Recyclingmöglichkeiten der anfallenden Späne. Durch Optimierung der Bearbeitungsprozesse konnten mit den bereits installierten Maschinen, die allerdings noch deutlich teurer als vergleichbare Nassbearbeitungsmaschinen sind, auch beachtliche Leistungssteigerungen erzielt werden.

Bei Einzelbearbeitungsmaschinen haben Erfahrungen von Anwendern gezeigt, dass konventionelle Werkzeugmaschinen, insbesondere auch im Werkstattbereich, häufig problemlos auf MMKS-Systeme umgestellt werden können. Ein beispielhafter Kostenvergleich zwischen konventioneller Überflutungskühlschmierung und einem MMKS-System bei Einzelmaschinen zeigt die deutlichen Vorteile der MMKS, sowohl bei den Investitionen als auch bei den laufenden Kosten, so dass die höheren Beschaffungspreise für den KSS und der Aufwand für die erforderliche Pressluft mehr als ausgeglichen werden.
Ein beispielhafter Kostenvergleich an einzeln betriebenen Werkzeugmaschinen in Standardausführung (z.B. Fräs-, Bohr-, Drehmaschine) mit einem KSS-Volumen von 50 l beim Einsatz in Kleinbetrieben oder Handwerk hat folgende Werte ergeben: Die Gesamtkosten beliefen sich bei herkömmlichem KSS-Einsatz (Emulsionen) auf ca. 440 DM/Monat, beim Einsatz der MMKS auf ca. 160 DM/Monat. Daraus resultierte bei diesem Beispiel eine Amortisationszeit von unter einem Jahr.

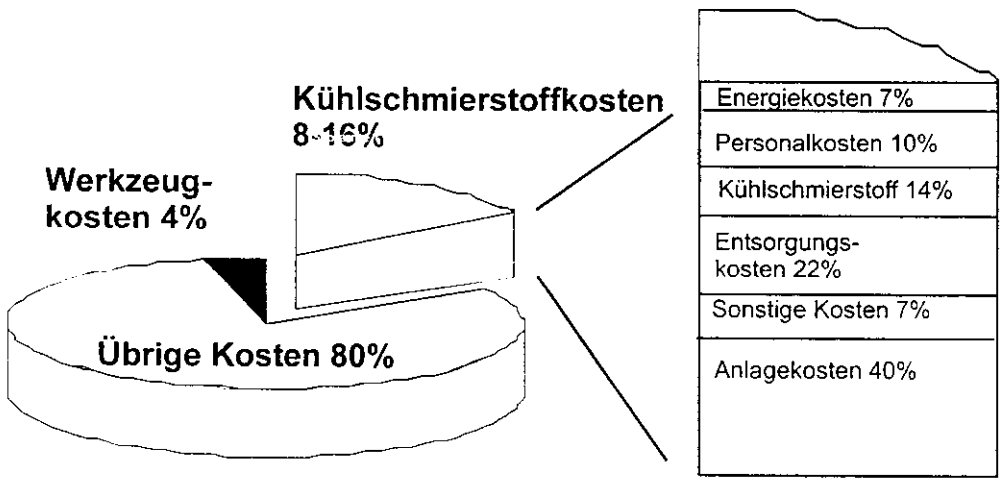
Die drei vorgestellten Beispiele verdeutlichen, dass mit prozessintegrierten Maßnahmen insbesondere bei zukunftsorientierter Betrachtungsweise wesentlich höhere Optimierungspotentiale zu erschließen sind als mit rein additiven Maßnahmen.

Abfallreduzierung und Kosteneinsparung stehen demnach keineswegs im Widerspruch


Technologieberatung
Cleaner Production
Produktions- und
Umwelttechnik
Betriebliche und regionale
Innovationsförderung
durch Kooperation und
Vernetzung
ABAG-itm
Abfallwirtschaft
betrieblich und regional
Förderprogramme
Projektbegleitung
und Vermittlung
Managementberatung
Beratung - Begleitung -
Training
Aktivitäten der ABAG-itm
ABAG

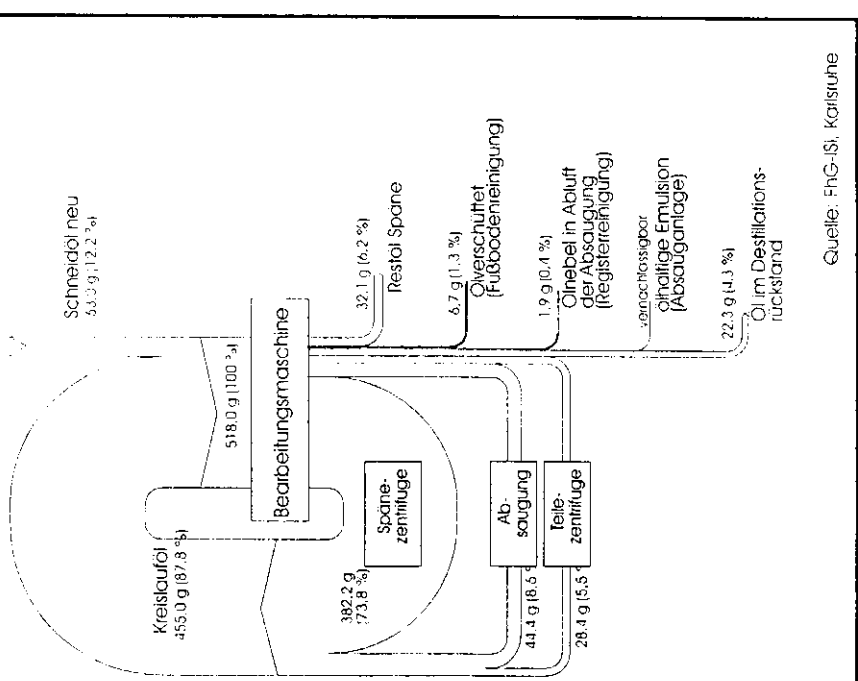

integrierte
Maßnahmen -
Öko-effizient
Ökonomie
Ökologie
nachgeordnete
Schutzmaßnahmen
Kosten / Nutzen im
betrieblichen Umweltschutz
ABAG-itm
MER019.VSD

Prozentuale KSS-Kosten in der spanenden Serienfertigung



Quelle: Statistisches Bundesamt

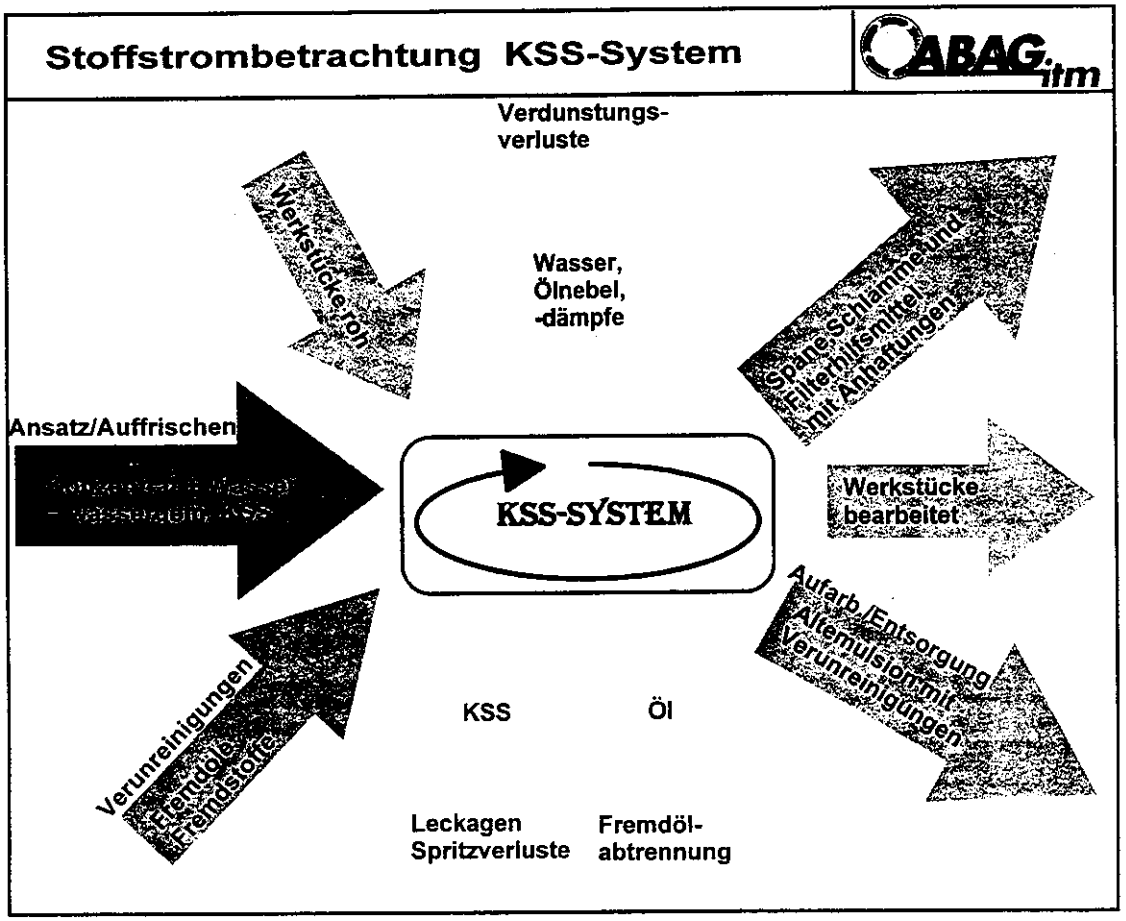
Ki013.cdr

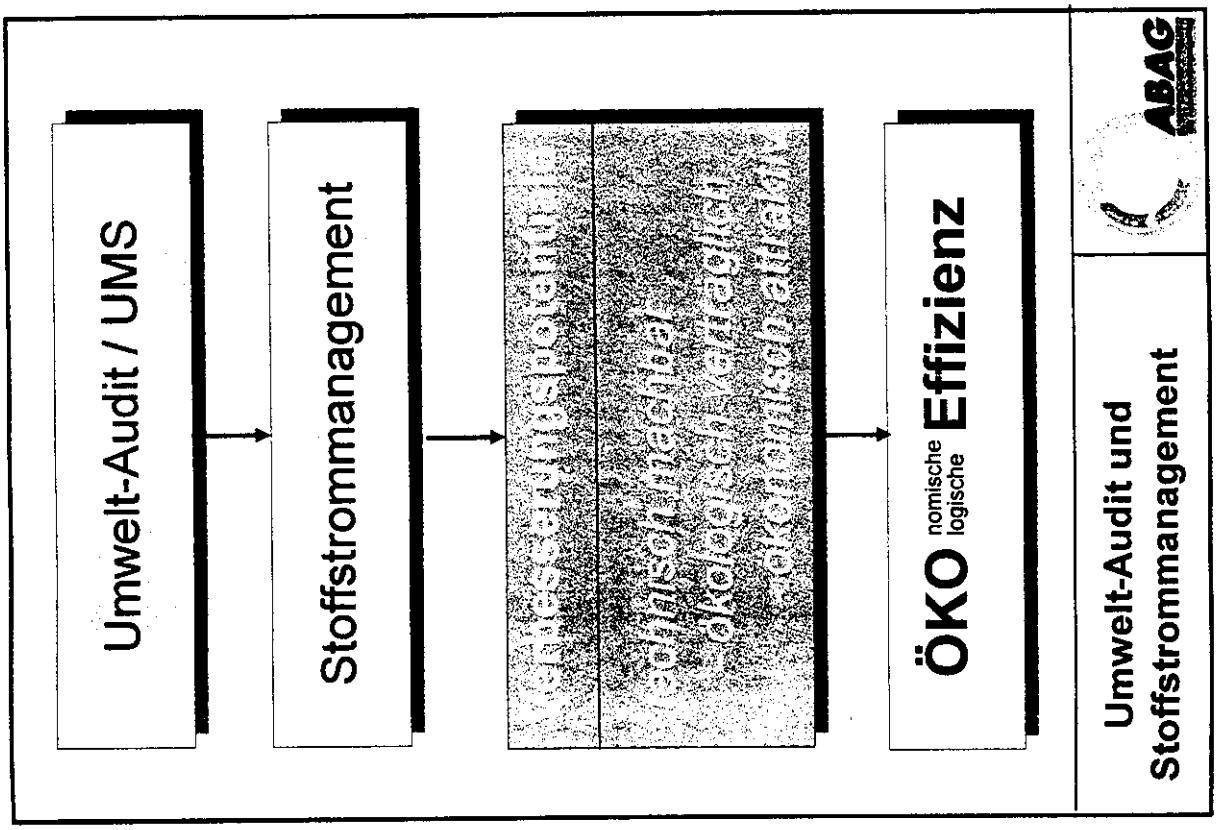


Quelle: FhG-ISI, Karlsruhe

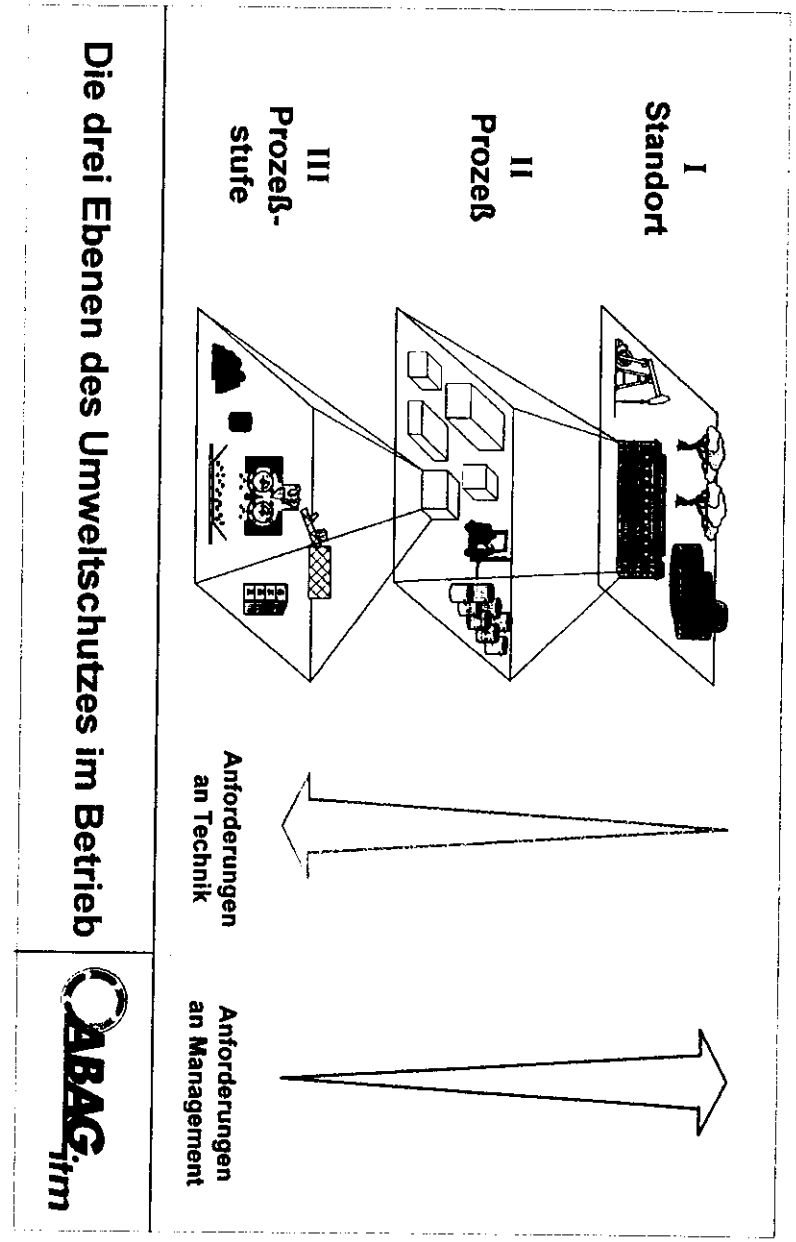
Schneidölkreislauf bei der spanenden Messingbearbeitung

ki-kan01.cdr


Stoffstrombetrachtung KSS-System
ABAG itm
Verdunstungs-
verluste
Werkstücke roh
Wasser,
Ölnebel,
-dämpfe
Späne Schlämme und
Filterhilfsmittel
mit Anhaftungen
Ansatz/Auffrischen
KSS-SYSTEM
Werkstücke
bearbeitet
Aufarb./Entsorgung
Altemulsion mit
Verunreinigungen
Verunreinigungen
Fremdöle
Fremdstoffe
KSS
Öl
Leckagen
Spritzverluste
Fremdöl-
abtrennung
KI0022.ds4


Umwelt-Audit / UMS
Stoffstrommanagement
ÖKO nomische logische Effizienz
ABAG
Umwelt-Audit und
Stoffstrommanagement

MER013.VE

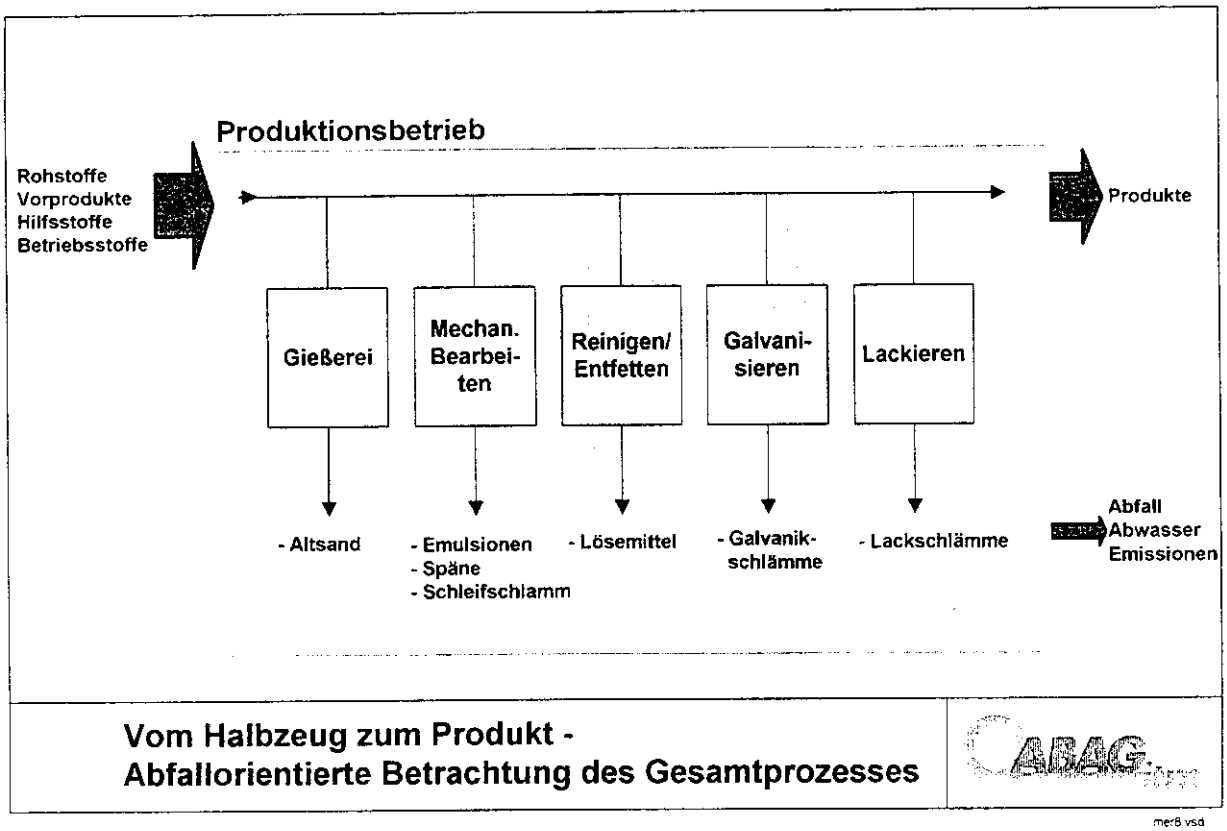


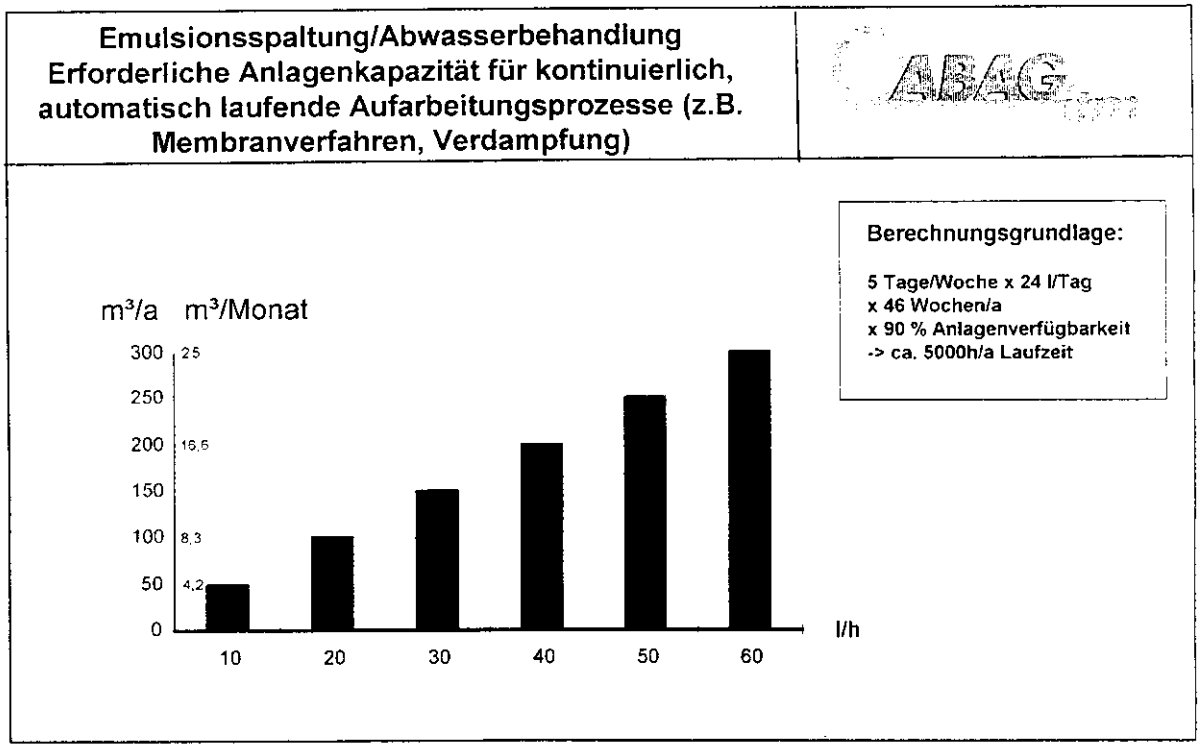
ABAG

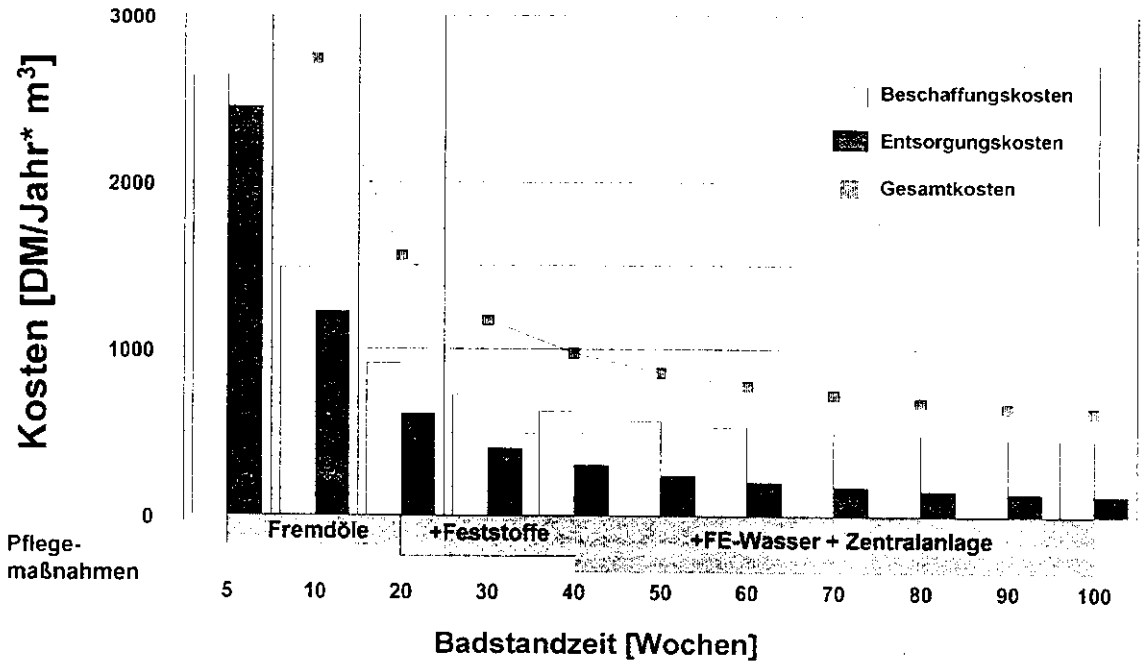
Bewertung ökonomischer Aspekte	Umweltschutz additiv	Umweltschutz integriert
Gesamtproduktivität	-	+
Produktionskosten	-	+
Investitionsbedarf	0	0
Anpassungs-/ Umstellungskosten	+	-
Betriebliche Kompatibilität	+/0	-/0
Wettbewerbsvorteile	-	+
Bewertung ökologischer Aspekte		
Energie-/Materialeffizienz	-	+
Entlastungspotential für die Umwelt	-	+
Mediale und zeitliche Problemverlagerung	-	+
Lösungspotential für Umweltprobleme	-	+

Abb. 5: Vergleich der ökonomischen und ökologischen Aspekte additiver und integrierter Maßnahmen

Oko_Ausk.Oko-Ausk.Allg. Dokument BL018366.DOC


Produktionsbetrieb
Rohstoffe
Vorprodukte
Hilfsstoffe
Betriebsstoffe
Produkte
Gießerei
Mechan. Bearbeiten
Reinigen/ Entfetten
Galvanisieren
Lackieren
- Altsand
- Emulsionen
- Späne
- Schleifschlamm
- Lösemittel
- Galvanikschlämme
- Lackschlämme
Abfall
Abwasser
Emissionen
Vom Halbzeug zum Produkt -
Abfallorientierte Betrachtung des Gesamtprozesses
ABAG
mer8.vsd


Emulsionsspaltung/Abwasserbehandlung
Erforderliche Anlagenkapazität für kontinuierlich, automatisch laufende Aufarbeitungsprozesse (z.B. Membranverfahren, Verdampfung)
ABAG
Berechnungsgrundlage:
5 Tage/Woche x 24 l/Tag
x 46 Wochen/a
x 90 % Anlagenverfügbarkeit
-> ca. 5000h/a Laufzeit
m³/a
m³/Monat
300
250
200
150
100
50
0
25
16,6
8,3
4,2
10
20
30
40
50
60
l/h
Ki_us046.vsd



Kostenentwicklung bei KSS - Emulsionen in Abhängigkeit von der Badstandzeit

KI_US022.VSD

Maßnahmen zur Standzeitverlängerung

- Richtige KSS-Auswahl (alle Aspekte einbeziehen)
- Messen und Dokumentation wesentlicher Parameter: Konzentration, pH-Wert, Nitrit, Temperatur, Leitfähigkeit
- Information und Schulung der Mitarbeiter
- Vermeidung von Fremdstoffeinträgen: Maschine, Werkstücke, Umgebung (Luft), Mitarbeiter, Bearbeitungsprozeß
- Eindämmung mikrobiologischer Aktivitäten durch
  - Belüftung
  - Entferung von Fremdstoffen
    - Fremdöle
    - Feststoffe

  mit geeigneten Verfahren/Verfahrenskombinationen
- Gründliche Reinigung/Entkeimung der gesamten Anlage bei KSS-Wechsel

Wassergemischte KSS

KI_US026.VSD

Trockenbearbeitung Gegen-überstellung wesentlicher Aspekte

ABAG

Vorteile

- keine KSS - Versorgung
  - Überwachung
  - Entsorgung
- trockene Späne/Stäube
- keine KSS-bedingten Umweltauswirkungen
- ggf. Verzicht a. Reinigung

Nachteile

- Neue Werkzeugmaschinen-technologien erforderlich
- Späneabfuhr muß gesichert sein
- Geräuschentwicklung
- Staubentwicklung

Folie K/014

ABAG

Standzeitverlängerung durch Überwachung und Pflege von Kühlschmierstoff-Emulsionen

Beispiel: Fa. ebm, Mulfingen
Metallverarbeitender Betrieb der Elektrobranche
23 einzelbefüllte Maschinen in der spanenden Metallbearbeitung
Kühlschmierstoff: Emulsion auf Mineralölbasis

Maßgebliche Kostenfaktoren

Ausgangssituation:

Zu entsorgende Gesamtmenge:	
ca. 45 m^3/a à 480,- DM/ m^3 =	21,6 TDM/a
Probleme mit Hauterkrankungen:	
Im ⌀ 3 - 5 Mitarbeiter entspr.	200-300 TDM/a

Maßnahmen:

- Einsatz stabilerer KSS-Konzentrate mit Verwertungspotential	kostenneutral
- Überwachung der wichtigsten Parameter: Invest.: 600,- DM + lfd. Kosten 40,- DM/d=	10 TDM/a
- Anschaffung einer mobilen Pflegeanlage: Drei-Phasen-Lamellenseparator mit Vorfiltration Separator: 4,2 TDM + Transportbehälter 5,5 TDM =	47,5 TDM

Ergebnis:

Standzeitverlängerung auf mind. 6 Monate	
Kaum Hauterkrankungen mehr ☺	keine Fehlzeiten
Reststoffe/Abfälle:	
- verbrauchte Emulsion: ca. 4,5 m^3/a à 480,- DM/m^3	Zweitölraffinerie
- abgetrennte Fremdöle: ca. 1,5 m^3/a à 300,- DM/m^3	
- abgetrennter Schlamm: ca. 60 kg/a à 3,- DM/kg	Entsorgung
Gesamtkosten	2.790,- DM/a

KSS/Allg./Dokumente

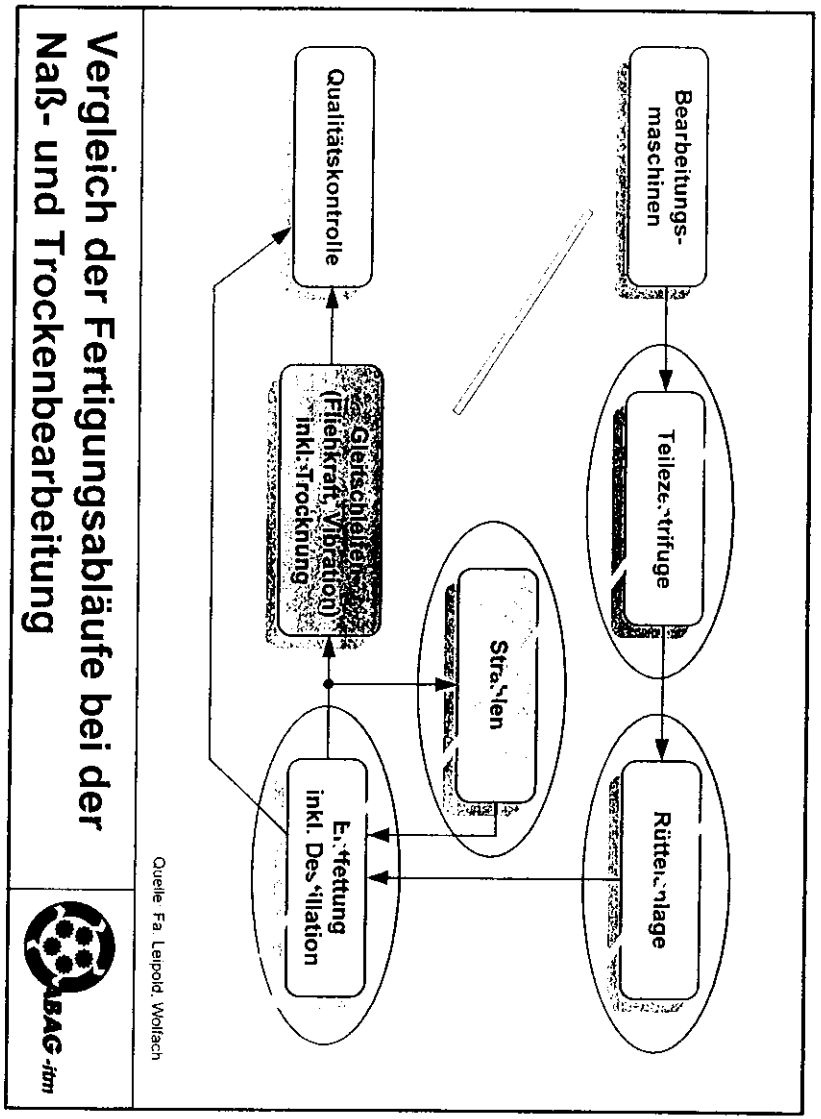
Kühlschmiersysteme

Kostenvergleich der MMKS gegenüber konventioneller Kühlschmierung bei Einzelmaschinen*

	Kosten pro Monat	
	Überfluteinrichtung	**MMKS-System**
Investitionen Abschreibung (6 Jahre)	i. a. vorhanden	ca. 3.000 DM **41,60 DM/Monat**
Kühlschmierstoff	Emulsion (5 %) 0.50DM/l(≥25DM/Badfüllung)	Für MMKS geeignete KSS (synth. o. nativ) ca.20DM/l
Verbrauch(160Betriebsstd./Mon) - durch Verschleppung (Spane, Werkstücke...)	Umlaufsystem ca. 30 %/Monat = **7,50 DM/Monat**	Verbr.ca.20ml/h =3,2l/Mon. Verlustschmierung **64 DM/Monat**
- durch Verwurf (bei Emulsion: 3 Monate Standzeit)	33 %/Monat = **8,25 DM/Monat**	entfällt
Preßluft	entfällt	Verbrauch ca. 50 l/Min. 240 m³ x 3 Pf/m³ **7,20 DM/Monat**
Personaleinsatz Arbeitsaufwand für Ansetzen, Nachfüllen, KSS-Überwachung... (Stundensatz 60 DM)	ca. 2 Std/Monat = **120 DM/Monat**	entfällt
Betriebsaufwand Maschinenstillstand durch Reinigung, KSS-Wechsel... (Masch.Stundensatz 100 DM)	ca. 3 Std. = **300 DM/Monat**	ca. 0,5 Std. = **50 DM/Monat**
Entsorgung:	15 l Altemulsion 15 l x 0,5 DM/l = **7,50 DM/Monat**	entfällt
resultierende Gesamtkosten	**443,25 DM/Monat**	**162,80 DM/Monat**
		Einsparung: 280,45 DM/Mon.

⇒ **Amortisation: unter 1 Jahr**

* Beispiel: Einzeln betriebene Werkzeugmaschine (z.B. Fräs-, Bohr-, Drehmaschine) mit KSS-Volumen von ca. 50 l. Standardausführung beim Einsatz in Kleinbetrieb oder Handwerk



ks012.vsd

Kühlschmierstoffe haben Potentiale Produktauswahl, Standzeitverlängerung, Rückführung, innerbetriebliche Aufarbeitung

Martin Zimmermann, Zimmermann GmbH, Öhringen

1 Aufgaben des Kühlschmierstoffes bei spanabhebender Fertigung

Zu den spanabhebenden Bearbeitungsverfahren von metallischen Werkstoffen gehören im wesentlichen:

- Drehen, Bohren, Fräsen
- Schleifen, Honen, Läppen

Zur Verminderung des Energiebedarfes einerseits, zur Temperierung des Werkstückes andererseits werden heute im Allgemeinen sogenannte Kühlschmierstoffe (Kurz: (KSS) eingesetzt. Sie erfüllen im wesentlichen folgende Aufgaben:

- Kühlen der Bearbeitungsstelle (Maßgenauigkeit!)
- Schmieren der Bearbeitungsstelle (Energiebedarf! Standzeitverlängerung des Werkzeugs!)
- Spülen der Bearbeitungsstelle (Oberflächengüte!)

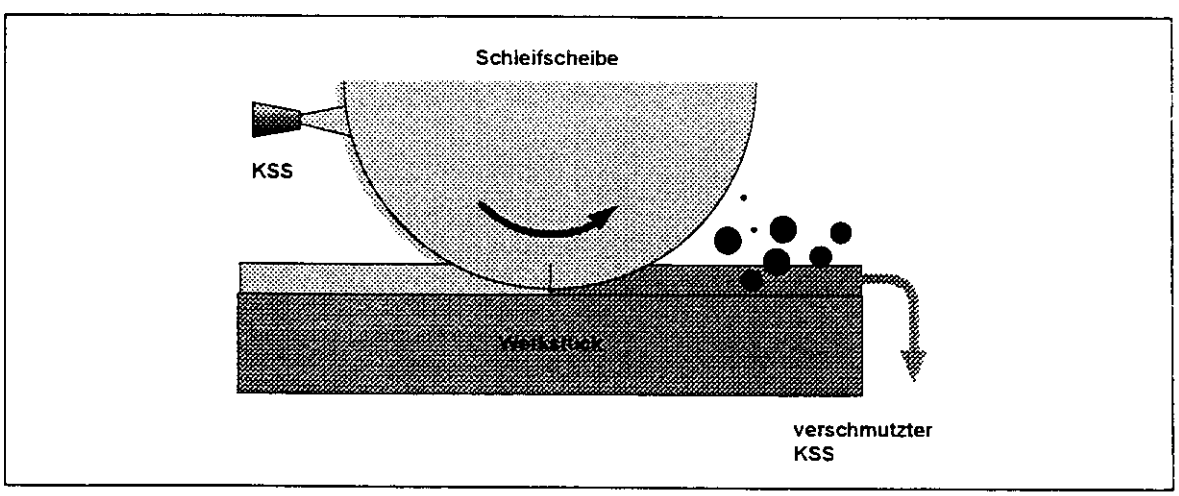


Abbildung 1: Kühlschmierstoff an einer Schleifscheibe

Der von der Bearbeitungsstelle kommende Kühlschmierstoff ist durch die abgespülten Feststoffe verschmutzt und durch die abgeführte Temperatur i.d.R. leicht erwärmt. Diesen Kühlschmierstoff zu entsorgen wäre jedoch ökologisch und ökonomisch nicht vertretbar. Er wird aufbereitet und der Bearbeitungsstelle wieder zugeführt. Die Kühlschmierstoffe werden so über längere Zeit im Kreislauf gefahren. Bei sogenannten Einzelanlagen werden Standzeiten von mehreren Wochen, bei Zentralanlagen von bis zu mehreren Jahren erreicht.

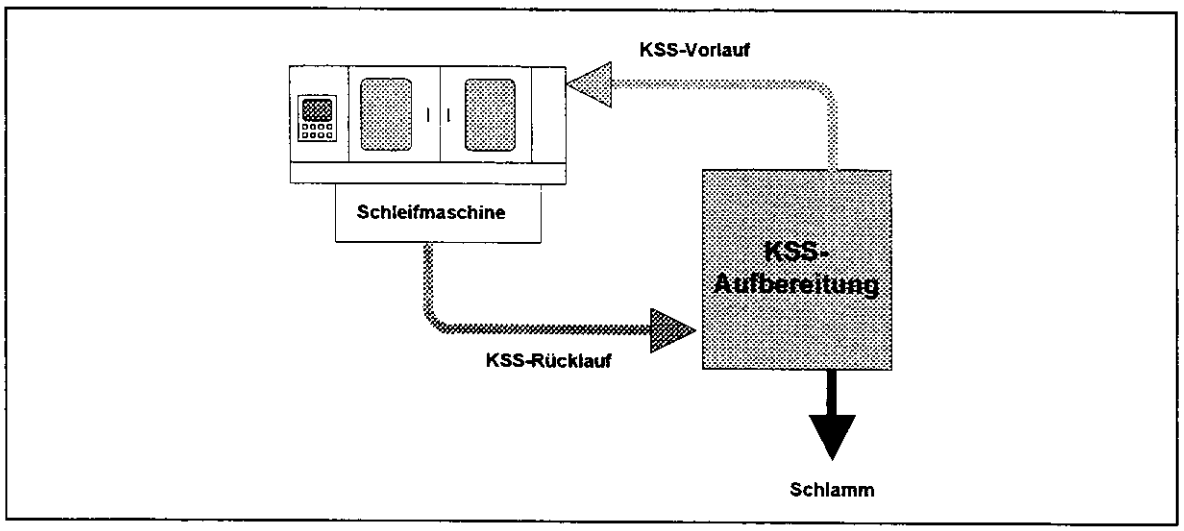


Abbildung 2: Der KSS-Kreislauf

2 Auswahl der geeigneten Kühlschmierstoffe

Je nach Aufgaben werden unterschiedliche KSS verwendet. Man unterscheidet im wesentlichen:

- Öl
- Emulsion
- Lösung

Die Auswahl des geeigneten KSS hängt u.a. ab von:

- Schwierigkeitsgrad der Zerspanung
- Schnittgeschwindigkeit
- Bearbeitete Metalle
- Werkzeugmaschine
- Erforderliche Oberflächenqualität

Die optimale Auswahl des KSS hinsichtlich o.g. Anforderungen wird die

- Werkzeugkosten (Verschleiß)
- Ausschusskosten
- Maschinenreparaturkosten
- Fertigungskosten

günstig gestalten. Die KSS-Anbieter werden hier für die jeweiligen Betriebsbedingungen die besten KSS anbieten.

3 Kosten durch Entsorgung und Rückstände

Ein wichtiger Kostenfaktor ist jedoch auch die Entsorgung der Rückstände und des KSS selbst.
Diese Kostenfaktoren werden sehr stark durch die eingesetzten KSS-Aufbereitungstechniken beeinflußt.

- Standzeit des KSS bis zur Entsorgung.

- Güte des Rückstandes (Sortenreinheit, Restölgehalt, Restemulsionsgehalt)
- Entsorgungsweg des gebrauchten KSS

4 Möglichkeiten zur optimalen Standzeit von KSS

4.1 Gegenüberstellung Einzel- und Zentralaufbereitung

Den größten Einfluss auf die Standzeit der KSS und damit der Entsorgungskosten hat sicherlich die eingesetzte KSS-Aufbereitung. An moderne Kühlschmierstoff-Aufbereitungsanlagen werden folgende Hauptaufgaben gestellt:

- Kühlschmierstoff reinigen, d.h. Verschmutzungen und Fremdstoffe (Mikroorganismen) abscheiden.
- Kühlschmierstoff temperieren (kühlen).
- Kühlschmierstoff mit entsprechendem Druck und in ausreichender Menge zur Bearbeitungsstelle fördern.

Generell unterscheidet man zwei Aufbereitungsstrategien:

- Einzel-Anlagen oder
- Zentral-Anlagen.

4.1.1 Einzelaufbereitung

Bei sogenannten Einzel-Anlagen erhält jede Werkzeugmaschine ihre eigene Kühlschmierstoff-Aufbereitungsanlage. Dies ist in der Regel dann sinnvoll, wenn nur wenige Werkzeugmaschinen im Einsatz sind.

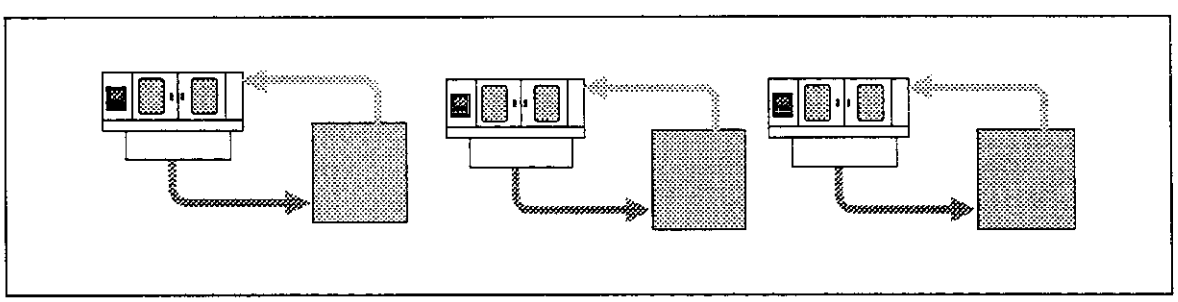


Abbildung 3: KSS-Einzelversorgung

Die wichtigsten Vor- und Nachteile der Einzelversorgung im Überblick:

Vorteile	Nachteile
• Geringer Verrohrungsaufwand. • Geringere Investitionskosten. • Bei Störung einer KSS-Anlage fällt nur eine Werkzeugmaschine aus.	• Hoher manueller Pflegeaufwand. • Geringere Standzeiten des KSS. • Höhere Stillstandszeiten durch häufigen KSS-Wechsel.

• Hohe Flexibilität.	• Geringere KSS-Qualität. • Schlechtere Schlamm-Eigenschaften. • Schlamm fällt an vielen Stellen an.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der Einzelversorgung

4.1.2 Zentrale Aufbereitung

Bei der sogenannten Zentralanlage (Zentralversorgung) wird der Kühlschmierstoff aller Werkzeugmaschinen (ggf. von WZM-Gruppen) über eine Anlage aufbereitet. Dies ist besonders beim Einsatz von vielen Maschinen sinnvoll, setzt aber voraus, daß in allen Werkzeugmaschinen derselbe Kühlschmierstoff verwendet wird.

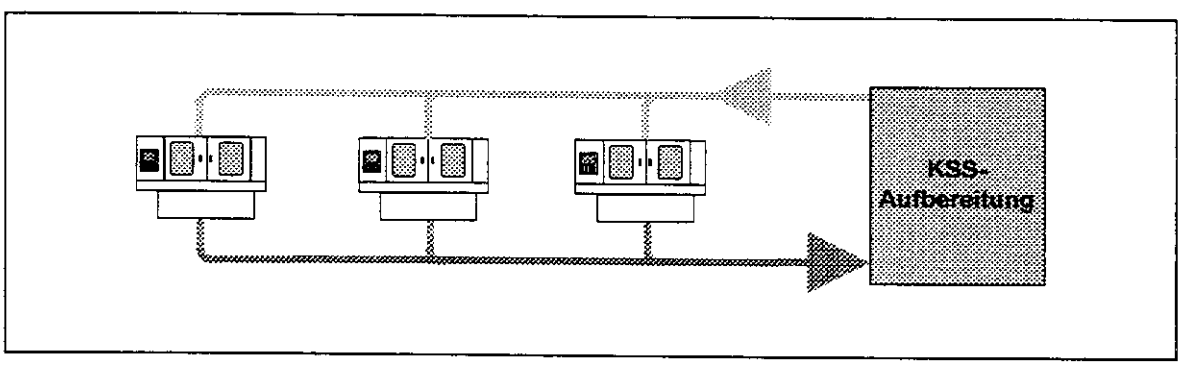


Abbildung 4: KSS-Zentralversorgung

Die wichtigsten Vor- und Nachteile der Zentralversorgung im Überblick:

Vorteile	Nachteile
• Geringer manueller Pflegeaufwand. • Hohe Standzeiten des KSS. • Geringere Stillstandszeiten durch seltenen KSS-Wechsel. • Hohe und gleichbleibende KSS-Qualität. • Bessere Schlamm-Eigenschaften. • Schlamm fällt nur an einer Stelle an.	• Hoher Verrohrungsaufwand. • Hohe Investitionskosten. • Bei Störung der KSS-Anlage fällt die gesamte Gruppe bzw. Fertigung aus. • Geringere Flexibilität. Nur ein KSS im Kreislauf

Tabelle 2: Vor- und Nachteile einer Zentralversorgung

4.2 Kühlschmierstoff-Aufbereitungsverfahren

Drei verfahrenstechnische Grundprinzipien werden bei der Kühlschmierstoff-Aufbereitung eingesetzt:

- Filtration
- Sedimentation
- Magnetismus

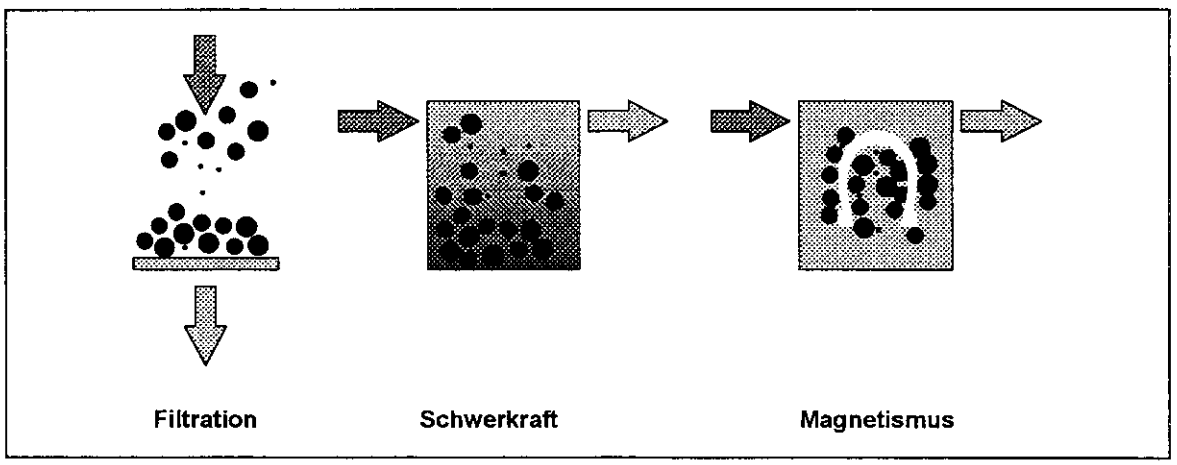


Abbildung 5: Verfahrensprinzipien der KSS-Aufbereitung

4.2.1 Filtration

Verschmutzter Kühlschmierstoff strömt durch ein Filtermedium. Die Feststoffe können das Filtermedium nicht passieren und lagern sich auf (in) dem Filtermedium ab. Es entsteht mit der Zeit ein Filterkuchen, der zu einem ansteigendem Differenzdruck führt. Das Filtermedium muß periodisch gereinigt werden, d.h. der Filterkuchen wird entfernt.

4.2.1.1 Endlosbandfilter

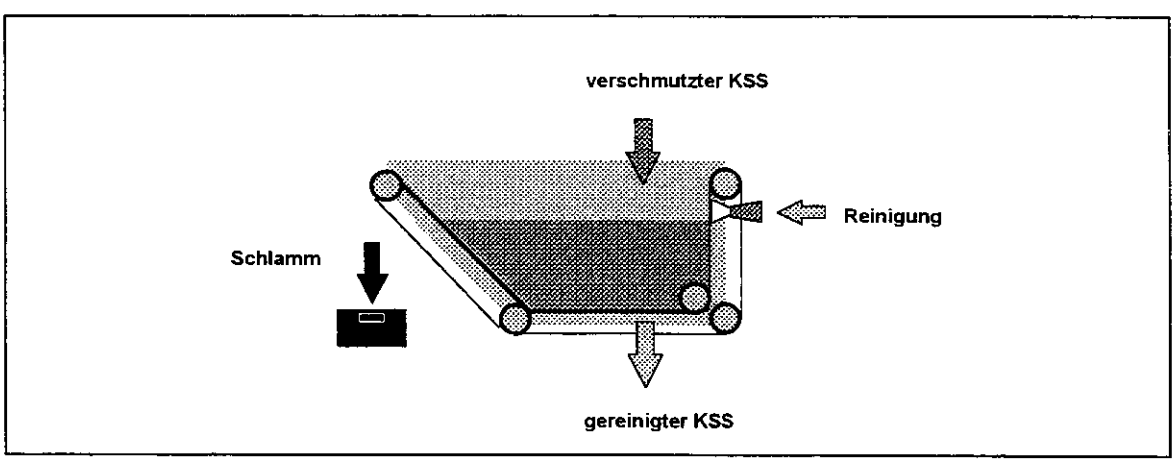


Abbildung 6: Endlosbandfilter (Prinzip)

Verschmutzter Kühlschmierstoff strömt in einen Schmutztank. Von dort wird der Kühlschmierstoff durch ein umlaufendes Kunststoff- oder Edelstahlgewebeband gesaugt. Die Feststoffe lagern sich auf

dem Band ab. Bei Erreichen eines bestimmten Differenzdruckes wird das Band ein Stück vorwärtstransportiert. Verschmutztes Band mit Feststoffen gelangt so nach außen, gereinigtes Band wird zur Filtrationsstelle eingezogen.

Das Band wird scharf umgelenkt, dadurch fällt ein Großteil des Schlammes in ein Auffanggefäß. Das Band läuft um und wird vor dem Eintritt in den Filter i.d.R. mit Kühlschmierstoff gereinigt.

Als Variante sind sogenannte Trommelfilter im Einsatz. Das Endlos-Gewebeband wird durch eine sogenannte Vakuum-Siebtrommel ersetzt.

Mit Zusatzeinrichtungen kann der Schlamm bereits im Filter vorgetrocknet werden, er weist jedoch i.d.R. noch hohe KSS-Gehalte auf.

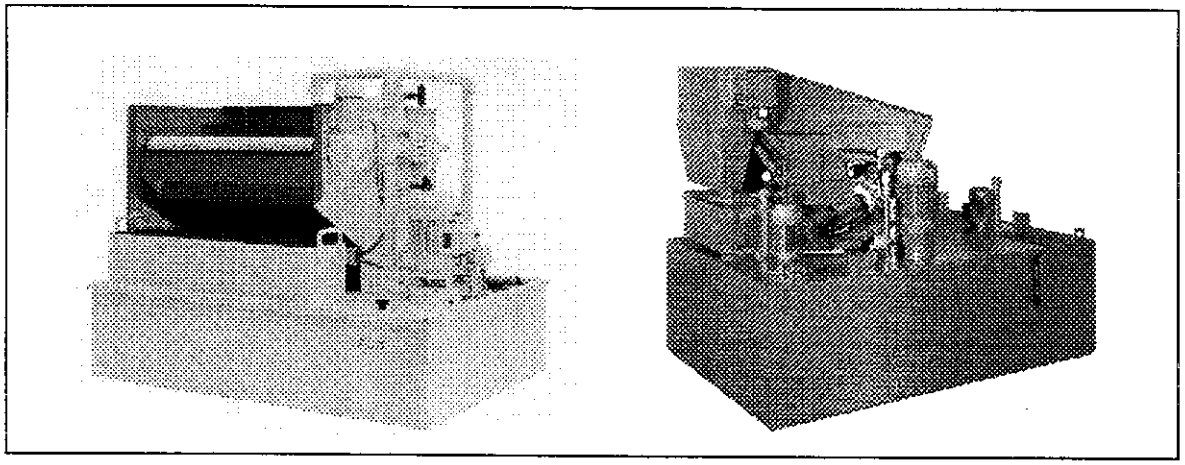


Abbildung 7: Beispiele Endlosbandfilter (Werkbilder FAUDI, Knoll)

4.2.1.2 Rückpülfilter

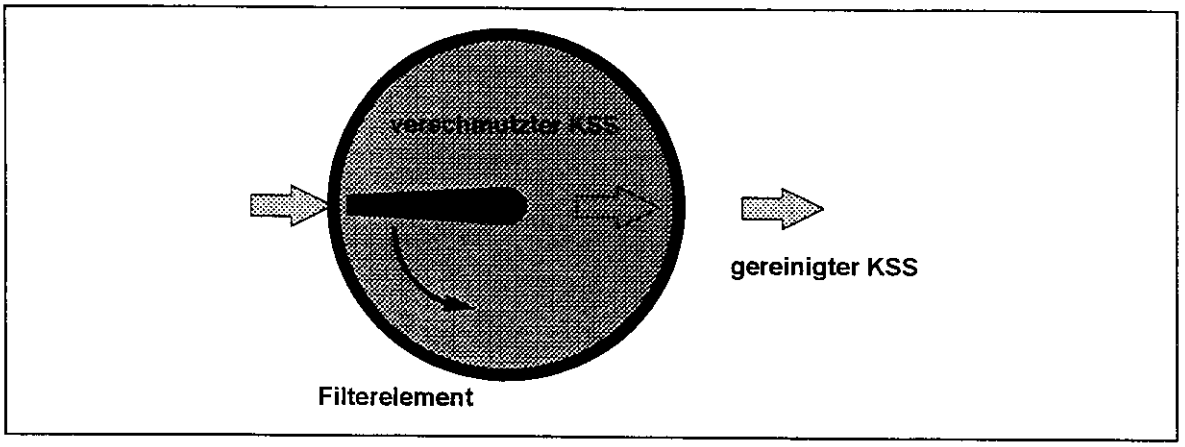


Abbildung 8: Rückspülfilter (Prinzip)

Der verschmutzte Kühlschmierstoff strömt von innen nach außen durch eine Filterkerze. Die Feststoffe lagern sich innen am Filterelement ab. Bei Erreichen eines bestimmten Differenzdruckes saugt eine drehende Lanze den Filterkuchen ab. Der Filtrationsbetrieb wird nicht unterbrochen. Der Schlamm ist jedoch noch dünnflüssig und muß nachbehandelt werden. Häufig werden Rückspülfilter in Kombination

mit anderen Verfahren, wie z.B. Sedimentationsbecken eingesetzt. Die Rückspülfilter werden hauptsächlich in Zentralanlagen eingesetzt.

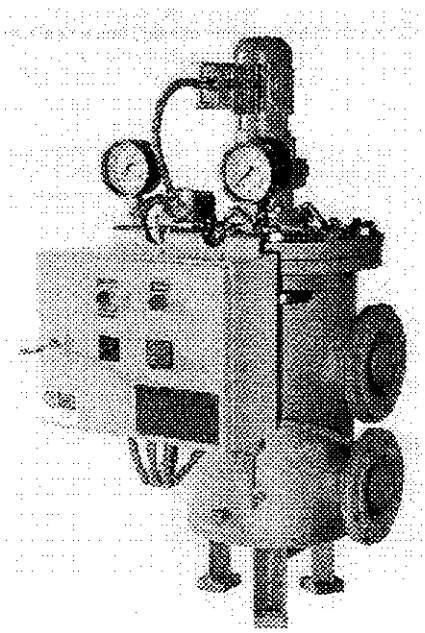


Abbildung 9: Rückspülfilter (Werkbild (AKO)

4.2.2 Schwerkraft

Verschmutzter Kühlschmierstoff strömt in einen Behälter der so konstruiert ist, daß sich eine „laminare" also beruhigte Strömung ohne Turbulenzen einstellt. Durch die Schwerkraft sinken die schweren Feststoffpartikel ab. So realisierte Sedimentation benötigt viel Raum. Zur Reduzierung des Volumenbedarfs kann man die sogenannte „Klärfläche" durch Einbauten erhöhen oder die „Schwerkraft" durch Zentrifugalkräfte erhöhen.

4.2.2.1 Sedimentationsbecken

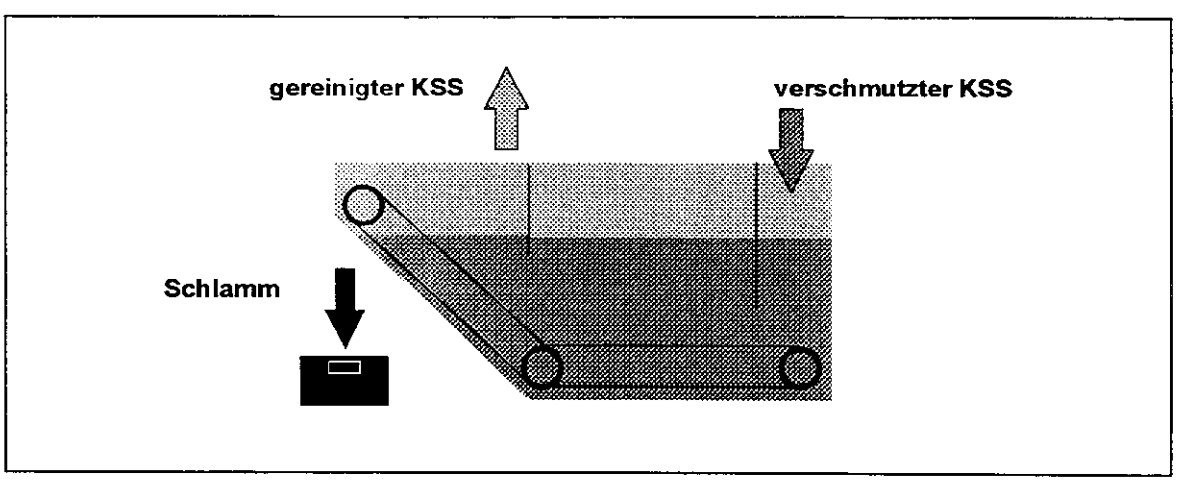


Abbildung 10: Sedimentation mit Kratzer

Der verschmutzte Kühlschmierstoff strömt in das Sedimentationsbecken. Die Feststoffe sinken zu Boden und werden über ein umlaufendes Kratzerband nach außen geschoben. Sedimentationsbecken werden häufig in Kombination zu anderen Verfahren eingesetzt. Der Schlamm enthält noch Kühlschmierstoff und muß weiter behandelt werden. Eine Variante ist der sogenannte Schrägplattenklärer. Die Klärfläche wird durch Einbau von Platten vergrößert, die Abscheideleistung damit verbessert. Die Feststoffe sinken in einen Konus und werden dort abgezogen.

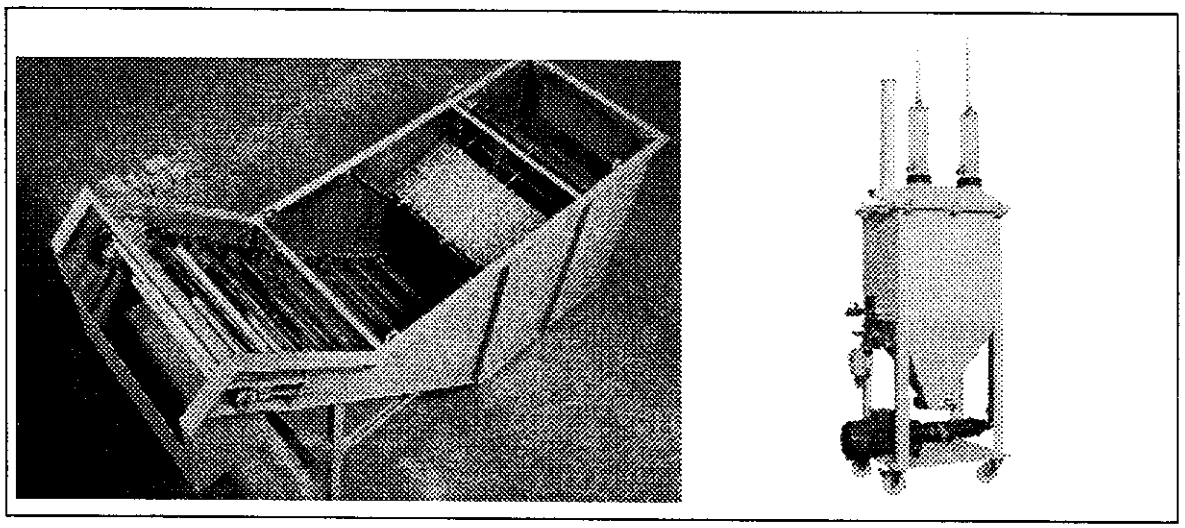


Abbildung 11: Varianten von Sedimentationsbecken (Werkbilder: FAUDI, Leiblein)

4.2.2.2 Hydrozyklone

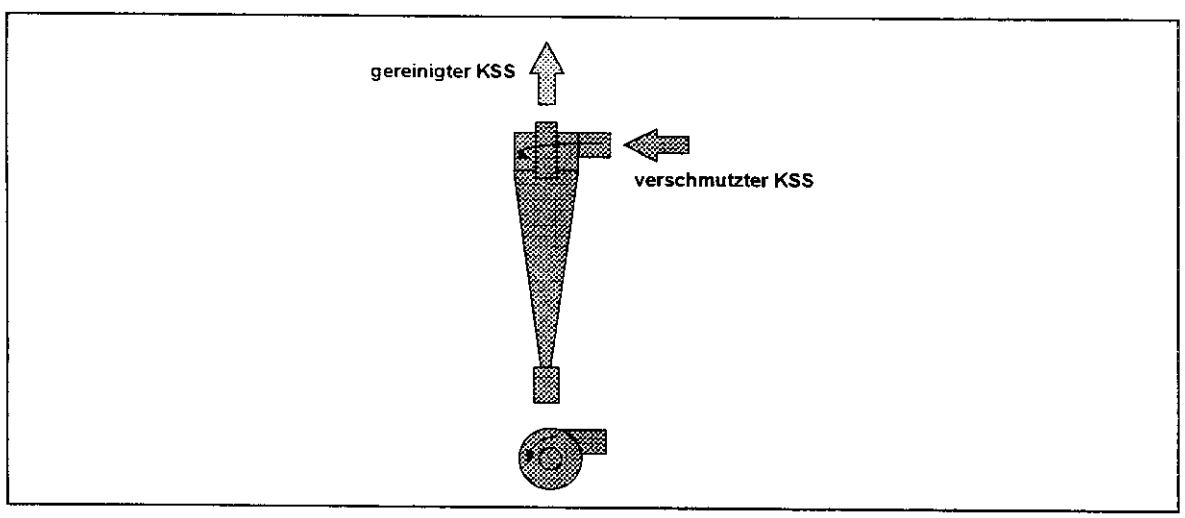


Abbildung 12: Hydrozyklon (Prinzip)

Der verschmutzte Kühlschmierstoff tritt tangential in den Hydrozyklon ein. Durch die entstehende Rotationsströmung werden die Feststoffe nach außen gedrückt. Sie gelangen in einer Wirbelströmung nach unten und werden durch eine Düse abgeschieden. In einer sogenannten Sekundärwirbelströmung gelangt der gereinigte Kühlschmierstoff in den zentrischen Oberlauf.

Hydrozyklone sind sehr kompakt und haben keine beweglichen Teile. Die Unterlaufdüse unterliegt jedoch einem gewissen Verschleiß. Wegen der hohen Turbulenz kann es bei Emulsionen zu Schaumproblemen kommen. Der Schlamm ist noch sehr dünnflüssig und muß noch nachbehandelt werden. Hydrozyklone werden sowohl in Einzel- als auch in Zentralanlagen eingesetzt.

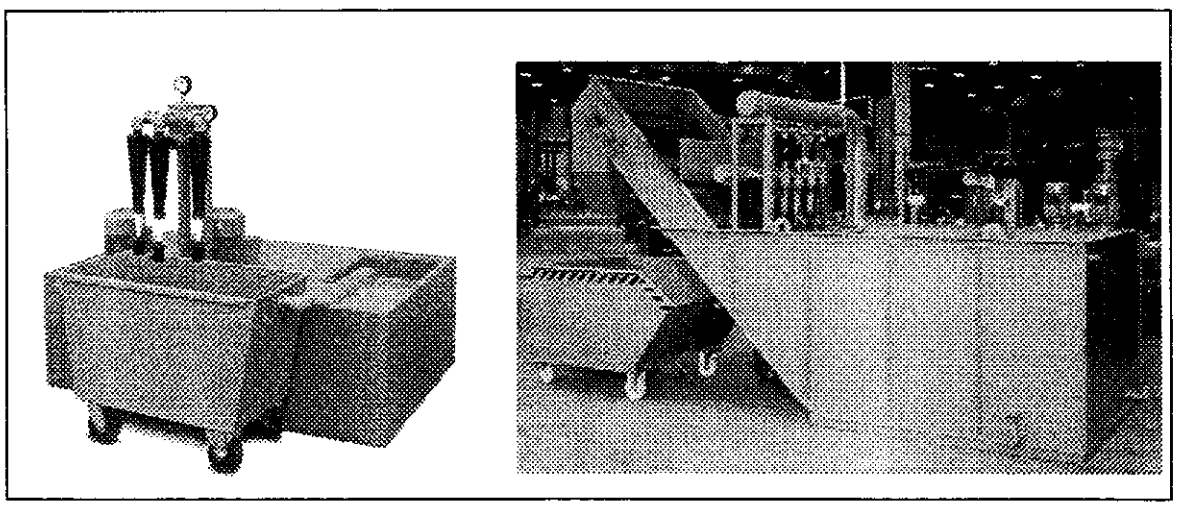


Abbildung 13: Hydrozyklonanlagen (Werkbilder Knoll, FAUDI)

4.2.2.3 Zentrifugen

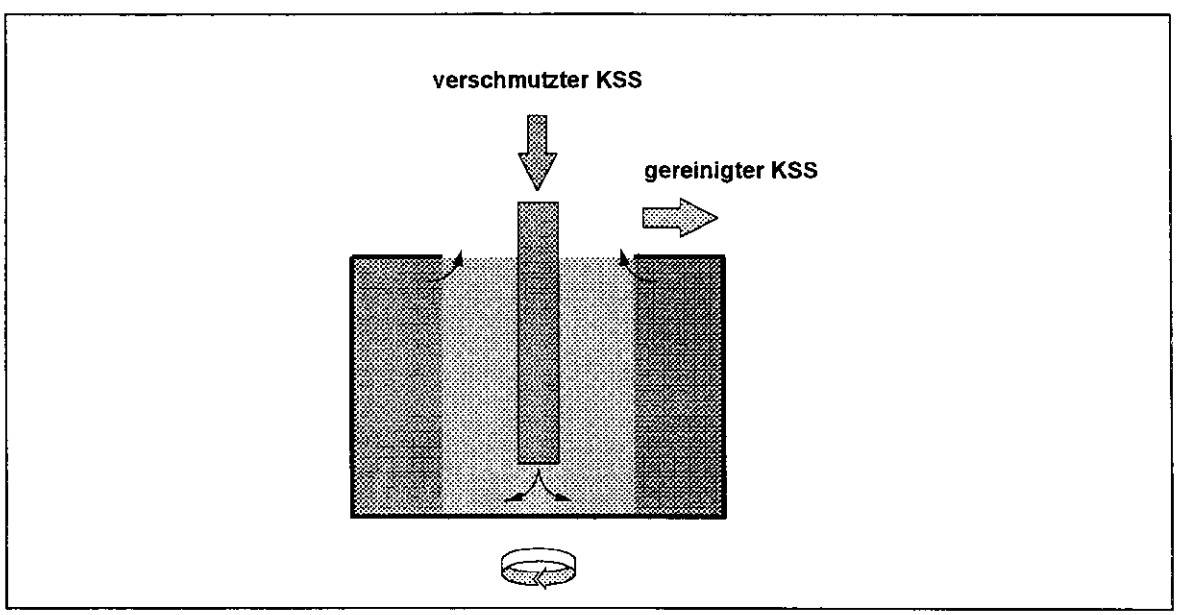


Abbildung 14: Zentrifuge (Prinzip)

Verschmutzter Kühlschmierstoff strömt in eine schnell rotierende Kammer. Durch die entstehende Rotationsströmung werden die Feststoffe an die Außenwand gedrückt. Der gereinigte Kühlschmierstoff läuft über eine Überlaufkante ab. Zentrifugen sind in unterschiedlichen Automatisierungsstufen erhältlich. Bei einfachen Systemen muß die Zentrifuge periodisch manuell entleert werden. Zunehmende Automatisierung zieht schnell hohe Investitionskosten nach sich. Der Schlamm weist nur noch geringste KSS-Gehalte auf. Zentrifugen werden häufig bei Einzel- oder Gruppenversorgung eingesetzt.

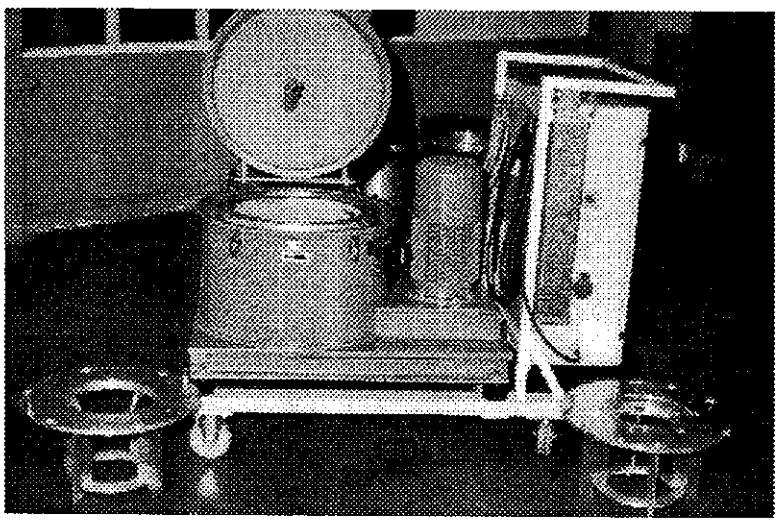


Abbildung 15: Mobile Zentrifuge (Werkbild T&A)

4.2.3 Magnetismus

Magnetisierbare Stoffe (Eisen) werden in einem Magnetfeld umgelenkt und lagern sich auf dem Magneten ab. Der Schlamm wird aus dem Kühlschmierstoff heraustransportiert und vom Magneten abgestreift.

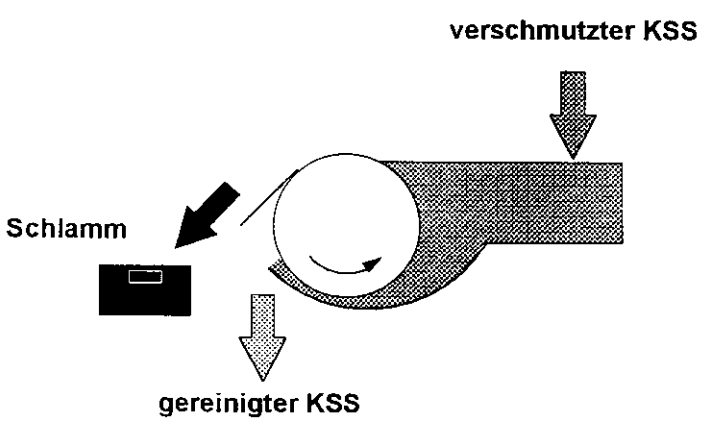


Abbildung 16: Magnetabscheider (Prinzip)

Verschmutzter Kühlschmierstoff strömt gleichmäßig in einem schmalen Spalt an einer Magnetwalze vorbei. Magnetisierte Partikel lagern sich an dieser Walze an. Periodisch wird diese Walze gedreht und zieht so den Schlamm aus der Flüssigkeit. Mittels Abstreifer wird der Schlamm von der Walze gelöst. Der Schlamm enthält noch deutliche Menge an Kühlschmierstoff. Magnetabscheideranlagen sind kompakt und werden häufig zur Einzelversorgung eingesetzt.

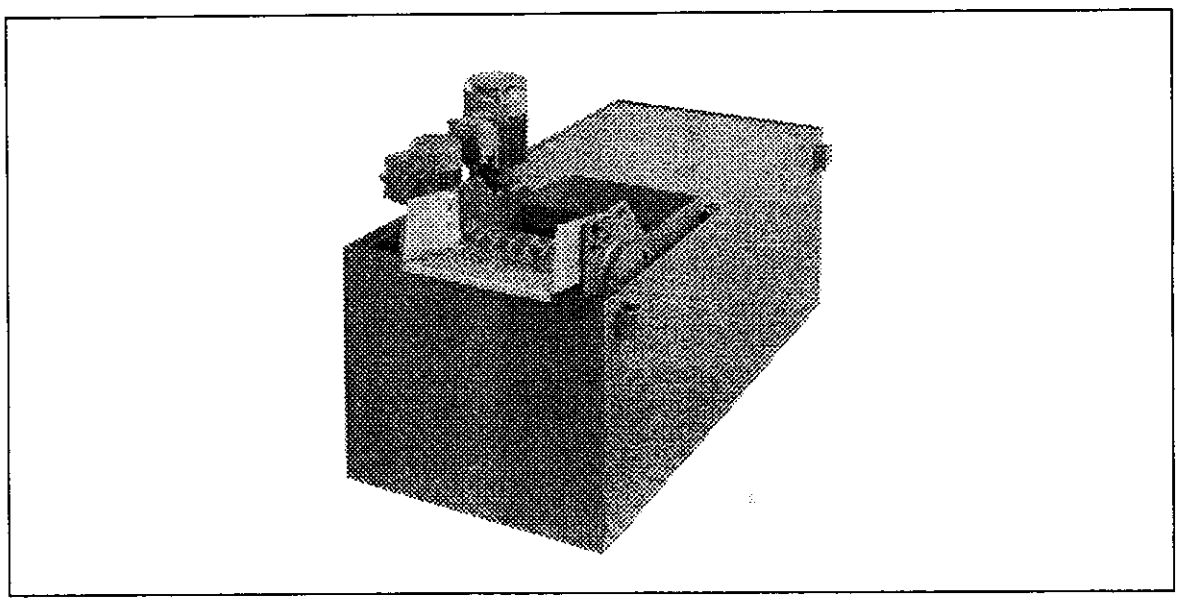


Abbildung 17: Magnetabscheider (Werkbild FAUDI)

Unter dem Aspekt der Abfallvermeidung erhält die Art der Schlammentsorgung zunehmende Bedeutung. Um den entstandenen Schlamm sinnvoll verwerten zu können, muß er „sortenrein", d.h. ohne Filterhilfsmittel (Vlies, Anschwemm-Mittel), vorliegen. Je trockener dieser Schlamm vorliegt, desto leichter wird seine Weiterverarbeitung sein.

4.3 Gegenüberstellung der vorgestellten Verfahren

Zur groben Beurteilung der einzelnen Verfahren wurden einige Größen in Tabelle 3 gegenübergestellt. Die Herstellerangaben differieren teilweise. Deshalb sind die angegebenen Werte nur als Richtwerte zu verstehen.

Verfahren	Erreichbarer Trenngrad	Investitions-kosten	Einzel/Zentral		Restfeuchte Schlamm	KSS-Art		
						Öl	Em.	Lsg.
Endlosbandfilter	40 - 100 µm	mittel	●	●	+ -	●	●	●
Rückspülfilter	15 - 100 µm	mittel		●	-		●	●
Sedimentation	20 - 100 µm	mittel	●	●	+ -	●	●	●
Hydrozyklon	10 - 30 µm	niedrig	●	●	- -		●	●
Zentrifuge	5 - 30 µm	mittel/hoch	●	●	+ +	●	●	●
Magnetabscheider	20 - 50 µm	niedrig	●		+ -	●	●	●

Tabelle 3: Gegenüberstellung der vorgestellten Verfahren

Die Auswahl des einzusetzenden Verfahren muß sehr sorgfältig erfolgen. Sie ist beispielsweise abhängig von der Bearbeitungsart, des eingesetzten Kühlschmierstoffes (Öl, Emulsion, Lösung), der Menge an Feststoffen, des bearbeiteten Werkstoffes und nicht zuletzt der benötigten Kühlschmierstoffmenge.

5 Weitergehende Maßnahmen zur Standzeitverlängerung von KSS

Neben den beschriebenen Verfahren zur Aufbereitung von Kühlschmierstoffen gibt es einige zusätzliche Maßnahmen zur weitergehenden Pflege und Standzeitverlängerung.

5.1 Qualität des Ansatzwassers (Emulsionen)

Zu hartes oder zu weiches Ansatzwasser begrenzt die Standzeit des KSS. Die Qualität des Ansatzwassers muss genau geprüft werden und ggf. angepaßt werden. Zu hartes Wasser muss enthärtet werden. Insgesamt sind beim Ansatz einer neuen Emulsion zu beachten:

- Sauberes, keimfreies, nicht zu hartes Ansatzwasser verwenden.
- Nur in sauberen Behältern arbeiten. Maschinenbehälter reinigen
- Ansatz bei Raumtemperatur durchführen.
- Vorzugsweise mit Mischgeräten arbeiten (Genauere Konzentrationseinstellung)

5.2 Fremdölabtrennung

Durch Leckagen an Bettbahnen und Hydrauliksystemen werden Fremdöle in das KSS eingetragen. Während sich diese Fremdöle in KSS-Ölen i.d.R. vermischen, bilden sie bei Emulsionen eine Schicht auf der Oberfläche. Sie verändern die Qualität der Emulsion. Bei geschlossenen Schichten auf der KSS-Oberfläche wird die Bildung von anaeroben Mikroorganismen gefördert. Aufschwimmende Öle können durch Skimmer abgetrennt werden. Umlaufende Adhäsionsmedien (Schläuche, Bänder, Scheiben) ziehen das Öl von der Oberfläche. Das mitgeschleppte Öl wird dann an einer Abstreifvorrichtung abgetrennt.

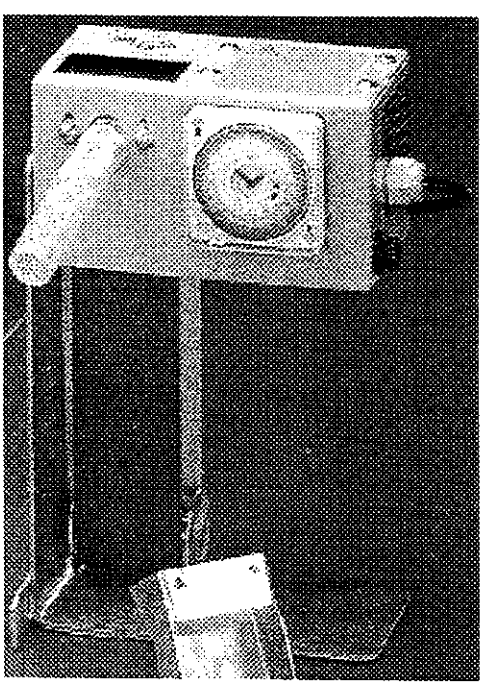


Abbildung 18: Bandskimmer

5.3 Entkeimung des KSS

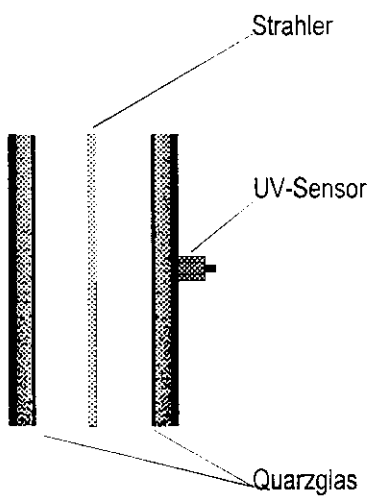
Speziell Emulsionen neigen zur Verkeimung. Schon einfache Maßnahmen können erhebliche Wirkung zeigen:

Emulsionen an arbeitsfreien Tagen regelmäßig bewegen/filtrieren (Wochenendumwälzung)

- Emulsionen belüften
- Fremdöle abscheiden
- Keine Rohre/Behälter mit Ecken (Schmutznester).
- Keine organischen Stoffe einbringen.
- Regelmäßige Kontrollen durchführen.

Dennoch werden KSS-Emulsionen mit der Zeit verkeimen. Standardmäßig werden dann sogenannte Biozide zugegeben. Biozide verändern jedoch chemisch die Beschaffenheit des KSS und können z.B. bei Überdosierung zu Hautreizungen der Mitarbeiter führen. Bei Unterdosierung wird keine ausreichende Keimhemmung erreicht.

Als relativ neue Alternative bietet sich die Entkeimung mittels UV-Licht an. Wegen der naturgemäßen schlechten Transmission (Lichtdurchlässigkeit) wird mit spezifisch höheren Energieeinträgen und dünnen Emulsionsschichten gearbeitet.



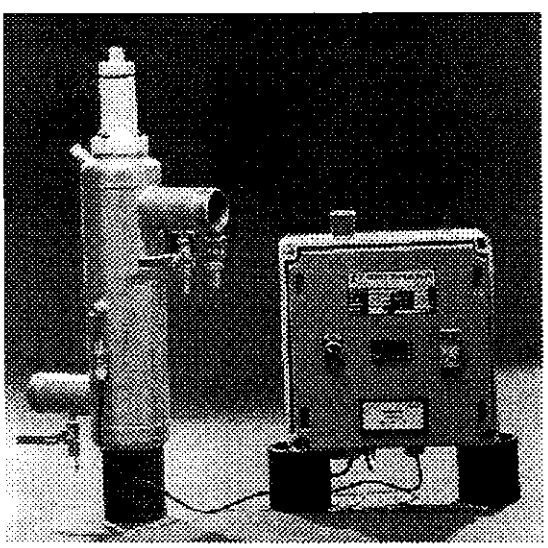


Abbildung 19: UV-Entkeimung

Vorteile der UV-Entkeimung sind:

- Kompaktes System
- Kontinuierliche Entkeimung
- Kein Einsatz von Chemie
- Geringer Energieeinsatz
- Zuverlässige Überwachung

6 Weitergehende Behandlung von Rückständen

Die bei der spanenden Bearbeitung anfallenden Späne können je nach Bearbeitungsart und eingesetztem KSS noch hohe Mengen an anhaftenden Ölen aufweisen. Das anhaftende Öl kann durch abzentrifugieren in sogenannten Spänezentrifugen zurückgewonnen werden. Der Metallschrott hat dann einen geringeren Ölanteil. Schleifschlämme können in Schlammpressen noch weiter entölt werden. Siehe dazu Vortrag „Schleif- und Bearbeitungsschlämme" von T. Ritzenfeld.

7 Behandlung des verbrauchten KSS

KSS-Öle ohne nennenswerten Wassergehalt können als Altöl i.d.R. wiederaufarbeitet oder thermisch verwertet werden.

Problematischer sind die Emulsionen. Sie können nicht wieder aufbereitet werden. Eine thermische Verwertung scheidet wegen des hohen Wasseranteils (90-97%) aus. Emulsionen müssen also über Fachbetriebe entsorgt oder im eigenen Betrieb gespalten werden. Als „Faustformel" läßt sich heute sagen, dass bei einer Entsorgungsmenge ab ca. 50 t/a die eigene Emulsionsspaltung wirtschaftlich sein wird.

Zwei wesentliche Verfahren zur Emulsionsspaltung sind bekannt:

- Chemische Spaltung
- Ultrafiltration

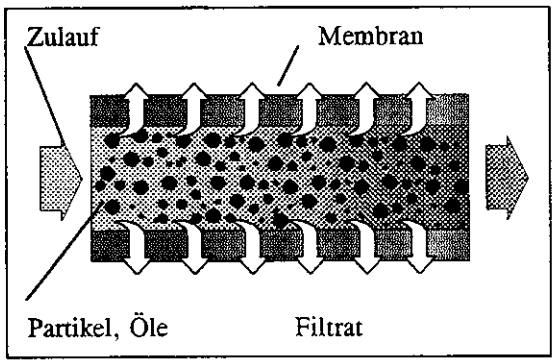
Die chemische Spaltung erzeugt jedoch durch den Einsatz der Spaltmittel zusätzliche Abfälle und soll hier nicht weiter betrachtet werden.

Durch die Entwicklung moderner und zuverlässiger Membranen und kompakte Anlagensysteme sind Ultrafiltrationsanlagen heute günstig bei der Investition und bei den Betriebskosten.

Die Ultrafiltration arbeitet nach dem CROSS-FLOW-Prinzip: Das aufzuarbeitende Abwasser ("Feed") strömt mit hoher Geschwindigkeit und entsprechendem Druck durch eine Rohrmembran. Wassermoleküle können die Membran passieren. Feststoffpartikel, Öltröpfchen und langkettige Moleküle werden zurückgehalten und verbleiben in der Umwälzung.

Durch ständige Zufuhr von Feed und gleichzeitigem Abzug von Filtrat konzentrieren sich die Bestandteile im System bis zu einer maximalen Endkonzentration auf. Das Konzentrat wird in geeignete Behälter entleert und ggf. weiter aufbereitet. In der Regel können Abwässer bis auf 1 - 5 % des Ausgangsvolumens aufkonzentriert werden.

Ggf. gelöste Metalle können i.d.R. mit selektiven Ionenaustauschern zurückgehalten werden. Das sogenannte Filtrat ist zwar ölfrei (< 5 mg/l) darf aber nicht zum Neuansatz von Emulsionen verwendet werden.



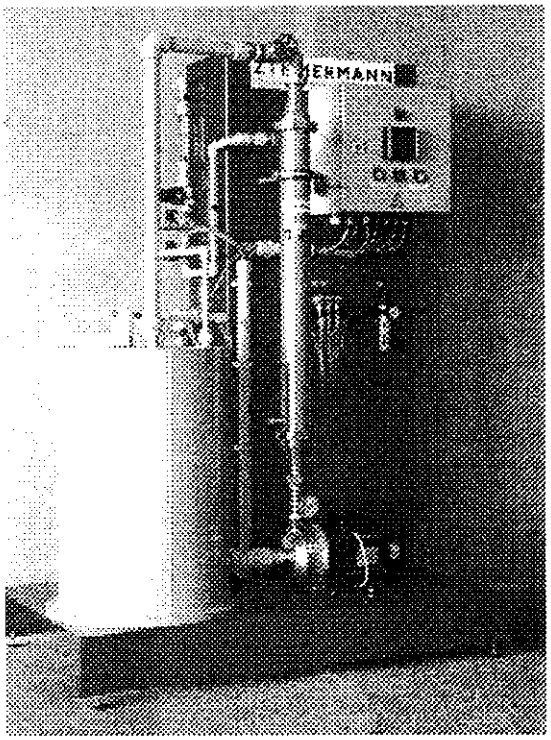
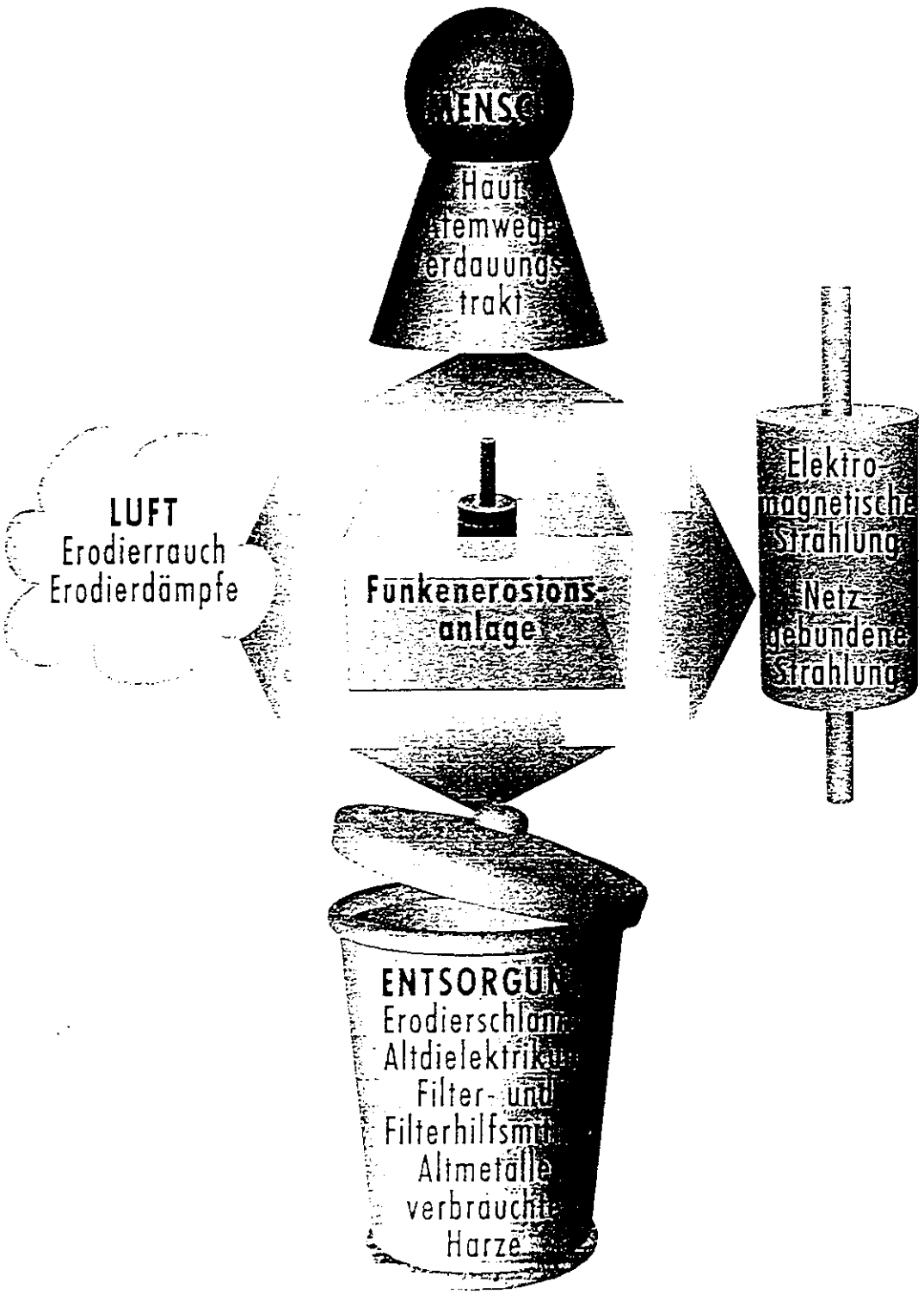


Abbildung 20: Kompakte Ultrafiltrationsanlagen

Funkenerosion und Umwelt

Draht- und Senkerodieren, Verfahren, neue Technologien, Kostenbetrachtungen

Dr. Manfred Storr, OEL-HELD Mineraloelwerk, Stuttgart



AUSWIRKUNGEN DES FUNKENEROSIONSPROZESSES AUF DIE UMWELT

Dielektrikum bei der Funkenerosion

Das russische Forscherehepaar B.R. und N.J. Lazarenko entdeckte im Jahre 1943 die materialabtragende Wirkung von Kondensatorenentladungen als Bearbeitungsverfahren für metallische Werkstoffe. Als Dielektrikum verwendeten sie zunächst normale Luft. Sehr schnell zeigte sich, daß Flüssigkeiten auf Mineralölbasis beachtliche Vorteile brachten. Die Durchschlagsfestigkeit war größer.Es konnten kleinere Funkenspalte gewählt werden, die eine höhere Abbildungsgenauigkeit ermöglichten. Die Funkenfolge konnte gesteigert werden, und der Metallabtrag ließ sich mühelos abtransportieren. Ohne Flüssigkeiten auf Mineralölbasis wäre eine industrielle Anwendung der Funkenerosion nicht möglich geworden. Zunächst wurden petroleumhaltige Produkte und Produkte auf Testbenzinbasis, z.B. Kristallöl, eingesetzt.

	Petroleum	Testbenzin (Kristallöl 60)
Dichte bei 15°C	0,790	0,790
Viskosität bei 20°C	1,8 cST.	2,0 cST
Flammpunkt °C	54-58	60
Siedebeginn °C	180	180
Siedeende °C	220	210
Verdunstungszahl (Äther=1)	220-250	295
Aromatengehalt Vol.%	17	18

Ab 1960 begann die Mineralölindustrie spezielle Arbeitsflüssigkeiten für den Einsatz in Funkenerosionsanlagen zu entwickeln.

Aufgaben des Dielektrikums

Isolation

- geringstmöglicher Abstand
- hohe Abbildungsgenauigkeit

Ionisation

- Schaffung der optimalen Bedingungen für den Aufbau eines elektrischen Feldes
- Ermöglichen einer Ionisationsbrücke
- schnelle Entionisation des Entladekanals bei Impulsende – Ziel: hohe Energiedichte → Erhöhung des Entladewirkungsgrades

Kühlung

- Kühlung des Werkstückes und der Elektrode (Funke hat ca. 8000 bis 12000 C)
- Überhitzung der Elektrode führt zu übermäßig hohem Verschleiß
- entstehende Metalldämpfe kondensieren in der Flüssigkeit
- abgehobenes, flüssiges Material formt sich im Dielektrikum zu Kugeln

Abtransport der Abtragspartikel

- Wegspülen von Werkstückmetall (Kugeln), Elektrodenmaterial (Kupfer, Graphit) und Crackprodukte des Dielektrikumss aus der Erodierzone

Anforderungen an das Dielektrikum

Theoretisch können alle elektrisch isolierenden Flüssigkeiten als Dielektrikum eingesetzt werden. Aufgrund der nachstehend aufgeführten Anforderungen an solche Medien werden heute aber nur entionisiertes Wasser (für Feinstbearbeitung) und Kohlenwasserstoffverbindungen eingesetzt. Die Kohlenwasserstoffverbindungen können entweder durch Destillation und Raffination von Mineralölen oder aber synthetisch aus Gasen im Syntheseofen unter Anwendung eines Katalysators hergestellt werden. Die synthetisch hergestellten Kohlenwasserstoffprodukte zeichnen sich durch einen nicht zu überbietenden Reinheitsgrad aus. Außerdem können genau die Kohlenwasserstoffketten zusammengebaut werden, die ein optimales Abtrags- und Verschleißverhalten ergeben. Sie sind dabei den Mineralölprodukten, die aus bestimmten Mineralölfraktionen durch Raffination hergestellt werden, weit überlegen.

Beurteilungskriterien für Dielektrika unter Umweltgesichtspunkten

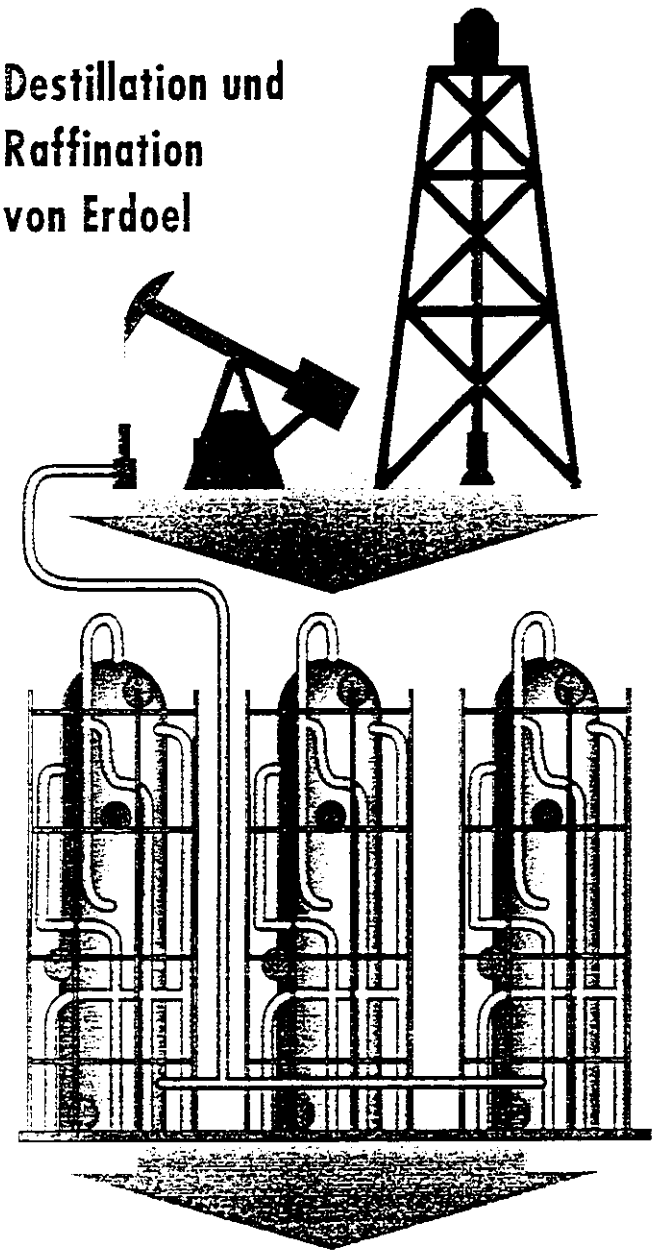
Allgemein ist zu sagen, daß es nicht schwierig ist, ein Produkt zu entwickeln, das in dem einen oder anderen Kriterium hervorragende Ergebnisse erzielt. Wichtig ist jedoch, daß das eingesetzte Produkt möglichst in allen Bereichen ein Optimum erzielt; z.B. lassen sich Produkte entwickeln, die ein höchstes mechanisches Leistungsverhalten besitzen und hervorragende Abtrags- und Verschleißresultate erzielen, andererseits aus physiologischen Gründen nicht einsetzbar sind oder Maschinenbauteile auffressen.

Physiologische Kriterien

Bereits heute, und sicher noch stärker in der Zukunft, gewinnen die hygienischen Aspekte bei der Verwendung von Kohlenwasserstoffverbindungen als Arbeitsflüssigkeiten mehr und mehr an Bedeutung. Geruch, Rauchbildung und Hautverträglichkeit bestimmen weitgehend die Arbeitsbedingungen an der Erosionsanlage.

Herstellung von Kohlenwasserstoffverbindungen

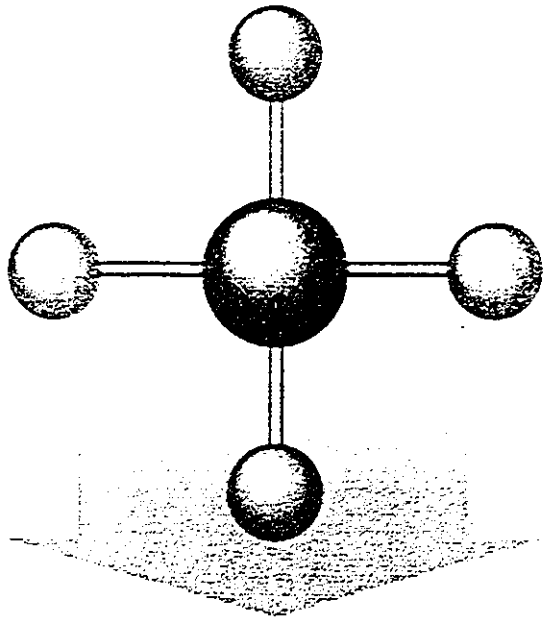
Destillation und Raffination von Erdoel



weitere Verarbeitung durch:

- Hydrofinieren
- Entaromatisieren (es kann auf Dauer nicht garantiert werden, daß sich nicht wieder Aromaten bilden

Synthetisch aus Gasen im Syntheseofen unter Anwendung eines Katalysators, Druck oder Hitze



- nicht zu überbietender Reinheitsgrad
- es können die Kohlenwasserstoffketten zusammengebaut werden, die ein optimales Abtrags- und Verschleißverhalten ergeben
- absolut frei von unerwünschten Bestandteilen wie Schwefel und Doppelbildungen

Berurteilungskriterien für Dielektrika

- Physiologische Aspekte
  - Toxizität
  - Hautverträglichkeit
  - Rauchbildung
  - Dampfbildung
  - Geruch
- Abtrags- und Verschleißverhalten
- Flammpunkt
- Dichte
- Verdunstungszahl
- Viskosität
- elektrische Leitfähigkeit
- Dielektrizitätskonstante
- Durchschlagsspannung
- Schlammtragevermögen
- Filtrierbarkeit
- Verträglichkeit mit Anlagekomponeneten
- Alterungsbeständigkeit
- Qualitätskonstanz
- Verfügbarkeit
- Preise

Toxizität

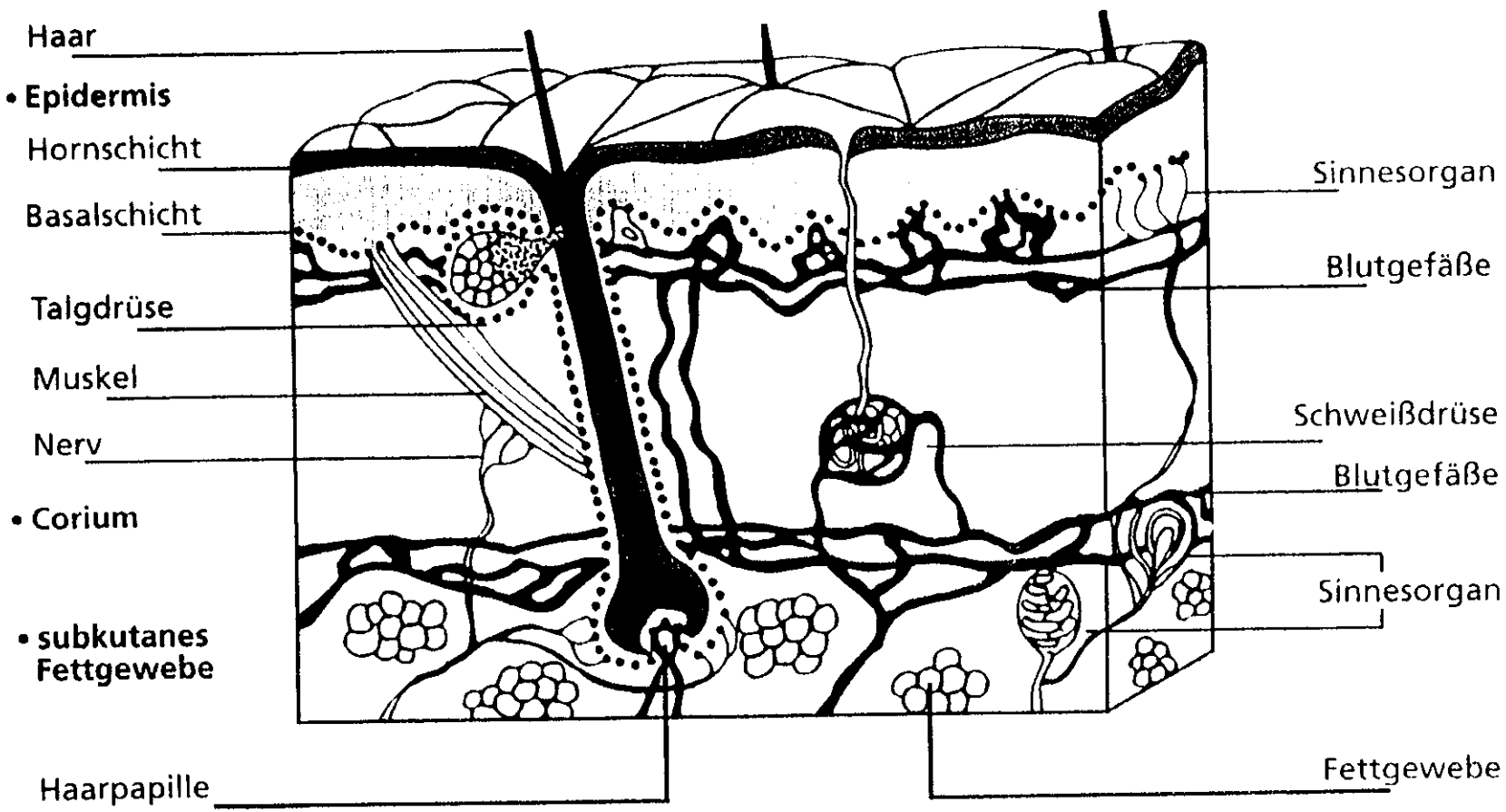
Für dielektrische Arbeitsflüssigkeiten gibt es in Bezug auf Toxizität, oder besser der organphysiologischen Eigenschaften, noch keine gesetzlichen Bestimmungen. Ein geringer Aromatengehalt eines ungebrauchten Produktes ist jedoch letztlich nicht allein maßgebend für dessen Qualität. Wesentlich wichtiger ist die genaue Kenntnis der Anfälligkeit zur Bildung von Aromaten durch den Erosionsprozeß (Alterungsstabilität). Selbst nach längerem Gebrauch des Dielektrikums dürfen sich keine polyzyklischen Aromaten, z.B. Benzpyrene, bilden, die heute zu den Krebserregern gezählt werden.

Hautverträglichkeit

Grundsätzlich sind Produkte, die aufgrund ihres hohen Reinheitsgrades dermatologisch unbedenklich sind, anderen vorzuziehen. Diese Produkte sollen möglichst aus vollständig gesättigten Kohlenwasserstoffverbindungen bestehen und einen möglichst geringen Aromatengehalt aufweisen. Ein Aromatengehalt von unter 1 Volumenprozent ist wünschenswert. Bei Kohlenwasserstoffen der Normalparaffinreihe von C_{12} bis C_{14} tritt gern das Phänomen der Hautreizungen auf. Normalparaffine in diesem Bereich sollten nicht eingesetzt werden. Wenn möglich, sollten nur Produkte verwendet werden, deren dermatologische Unbedenklichkeit durch neutrale medizinische Gutachten nachgewiesen werden.

Aufgrund der jahrzehntelangen Erfahrung mit physiologisch unbedenklichen Dielektrika und aufgrund ihrer Zusammensetzung kann gesagt werden, daß keine schädigende Einwirkung auf die Haut eintritt. Der arbeitsbedingte direkte Kontakt mit der menschlichen Haut erfolgt praktisch ausschließlich über die Hände. Die hautanhaftenden Flüssigkeitsreste lassen sich ohne Anwendung mechanisch oder chemisch aggressiver Reinigungsmittel entfernen. Dadurch werden auch Sekundärschädigungen vermieden. Bei hautempfindlichen, bzw. zu Allergien neigenden Personen ist eine Vorhersage des Verhaltens zwar generell sehr schwer, aus der praktischen Erfahrung heraus kann jedoch eine Negativreaktion nur äußerst selten eintreten (Prüfgutachten der Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg liegen vor). Negativ auf die Haut wirken sich die im verschmutz-

Schematischer Hautschnitt (nach G. Vogel, H. Angermann, 1971)



Physikalische Bedingungen	
– Körperliche Arbeit in Hitze	(vermehrte Hautdurchblutung)
– Arbeit in feuchtem Milieu	(gequollene Hornschicht)
– Anschließender Luftabschluß	(Verstärkung der Einwirkung)
– Mechanische Hautschädigung	(Perforierung der Epidermis)
Chemische Bedingungen	
– Mit-Einwirkung von entfettenden Substanzen (Tenside, Lösemittel)	(Entfernung des Hautfettes)
– Mit-Einwirkung von durchblutungsfördernden Stoffen	(vermehrte Hautdurchblutung)
– Hautkontakt mit empfindlichen Körperteilen	(alle Regionen außer Handflächen und Fußsohlen)
Physiologische Bedingungen	
– Trockenzustand der Haut	(Seborrhoiker und Sebostatiker sind unterschiedlich anfällig)
– Farbton der Haut	(hellhäutige Personen sind durch Mineralöle gefährdet)
– Freizeitverhalten	(Tätigkeiten und Gewohnheiten außerhalb der Arbeit haben großen Einfluß)

Bedingungen, bei denen eine erhöhte Hautgefährdung zu erwarten ist

ten Dielektrikum schwebenden Abtragspartikel aus. Es handelt sich dabei um mikrofeine hohle Stahlkügelchen, die an einer Seite offen sind und sehr scharfe Kanten besitzen. Diese Kügelchen verletzen sehr leicht die Oberhaut, so daß es dann zu Hautschäden kommen kann. Eine weitere Sensibilisierung der Oberhaut kann durch die Einnahme von Arzneimitteln, z.B. Penizillin, erfolgen, so daß es ebenfalls zu Hautirritationen kommen kann. In allen diesem Fällen empfiehlt es sich, vor dem Arbeiten die Hände mit einem ölunlöslichen Hautschutz einzureiben. Vom Dielektrikum durchtränkte Kleidungsstücke sollten unverzüglich gewechselt werden.

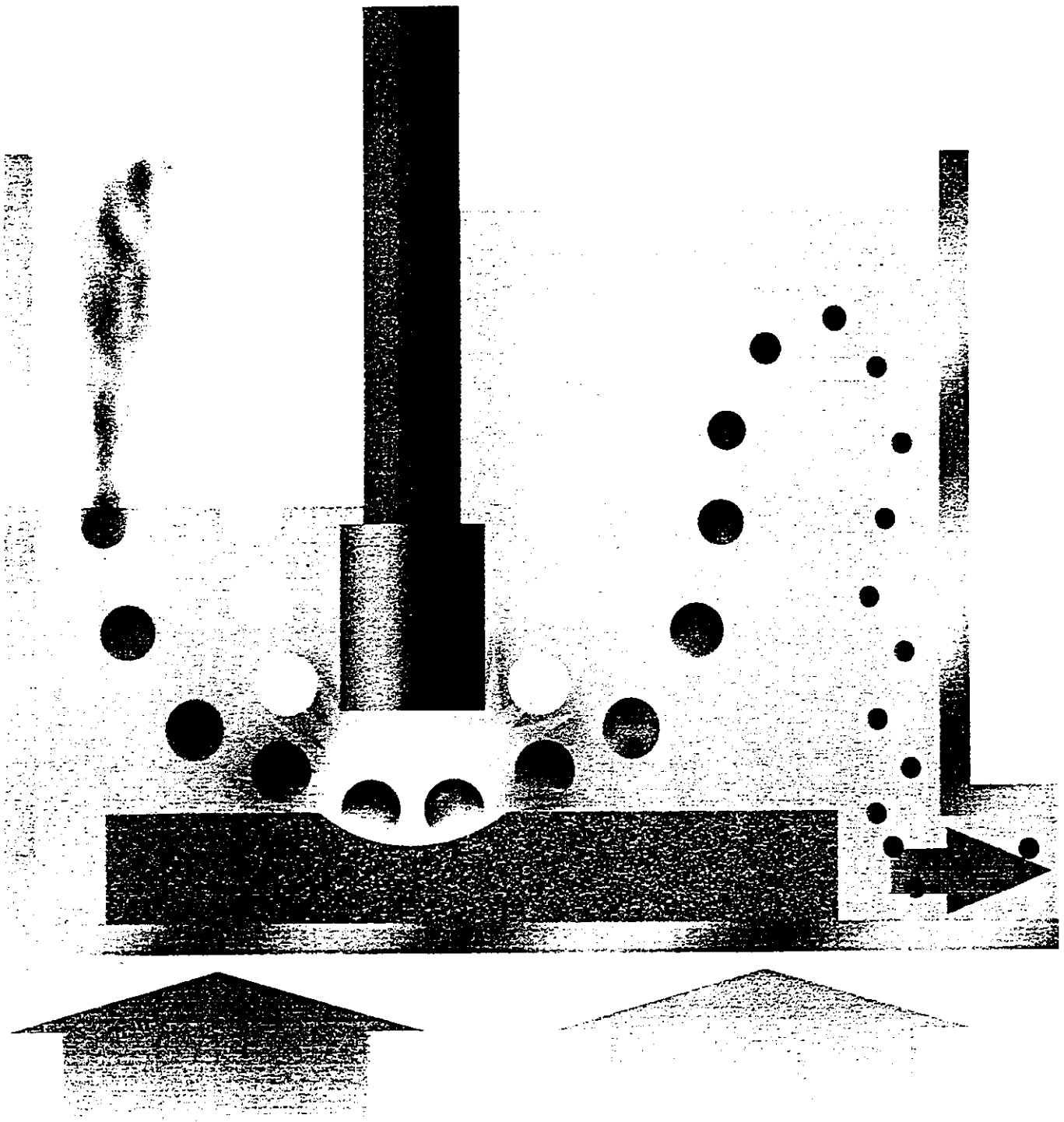
Rauchbildung

Die Rauchbildung beim Erodieren wird durch die verschieden großen Abtragsraten stark beeinflusst. Dünnflüssige Dielektrika besitzen in der Regel eine geringere Rauchbildung als dickflüssige. Je höher die Erodierstelle vom Dielektrikum überspült wird, desto geringer ist auch die Rauchbildung (nach VDI- Richtlinie 3402: Mindestüberdeckung 40 mm). Grundsätzlich sollte an einer Erosionsanlage ein Rauchgasabzug angebracht sein, wenn die Anlage nicht ausschließlich im Feinbereich eingesetzt wird.

Dampfbildung bei der Funkenerosion

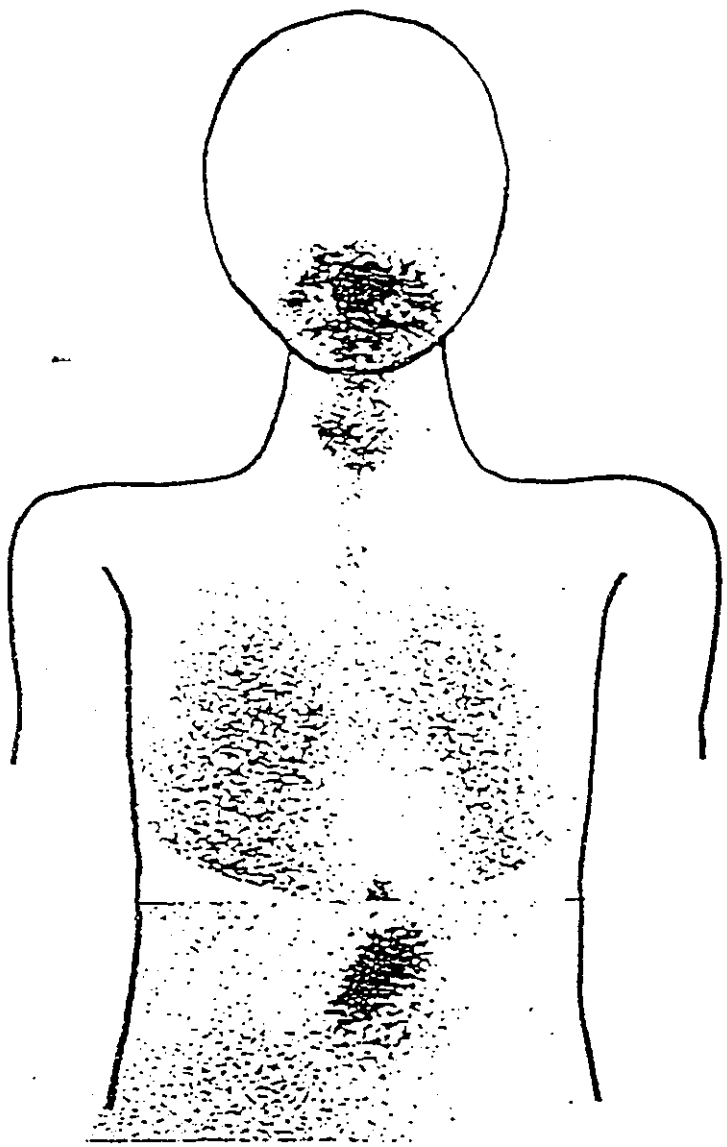
Die beim Erodieren entstehenden Dämpfe setzen sich aus Dämpfen des Dielektrikums und aus Metalldämpfen zusammen. Die Dämpfe von aromatenfreien Dielektrika enthalten auch nach längerem Gebrauch keine Benzolverbindungen, z.B. polyzyklische Aromaten vom Typ der Benzpyrene. Eine negative Beeinträchtigung der Gesundheit durch aromatenarme Dielektrika erfolgt nicht. Dies gilt jedoch nicht für die entstehenden Metalldämpfe (z.B. Wolframcarbid, Titancarbid, Chrom, Nickel, Molybdän). Wichtig ist, daß die Erodierstelle möglichst hoch mit Dielektrikum überdeckt ist, damit der gößte Teil der Metalldämpfe im Dielektrikum kondensieren kann. Bei den entstehenden Metalldämpfen handelt es sich um die gleiche Problematik wie sie beim Schweißen von Metallen besteht. Wir empfehlen daher bei hohen Schruppleistungen die Dämpfe abzusaugen. Da beim heutigen Stand der Untersuchungsmethoden nicht ausgeschlossen werden kann, daß bei der Funkenerosion durch katalytische Effekte und extrem hohe Temperaturen

Dampfbildung bei Funkenerosion

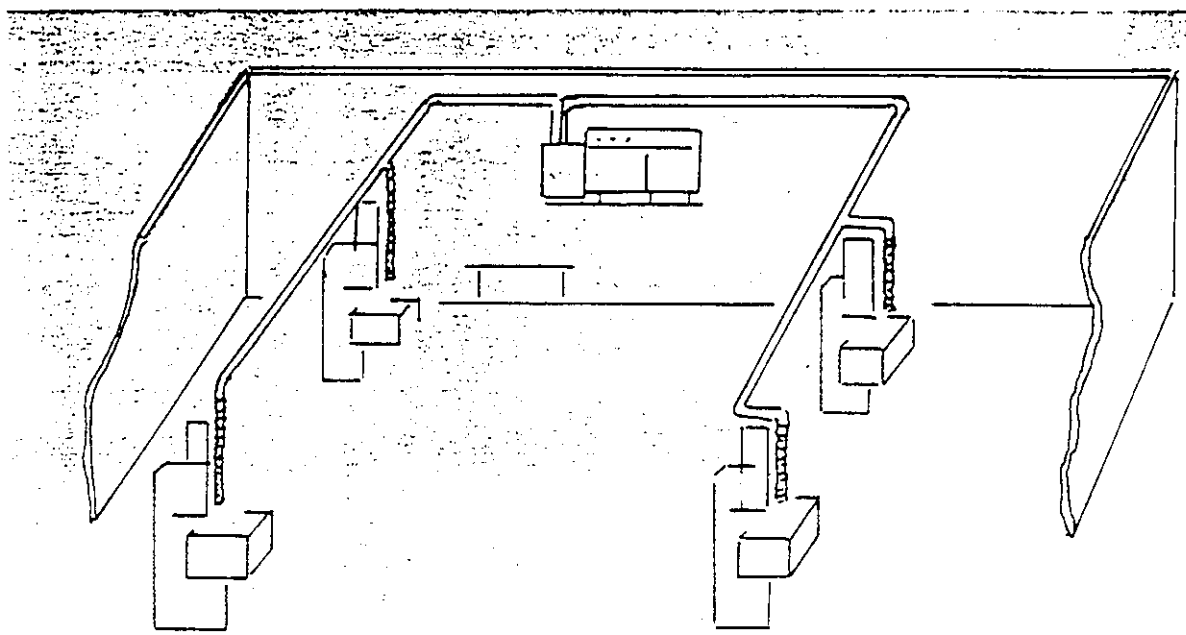


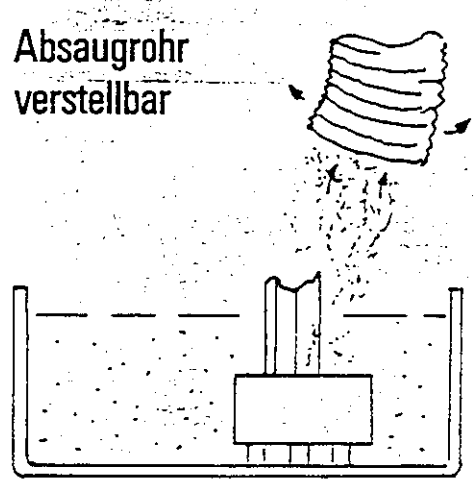
geringe Überdeckung
der Erodierstelle

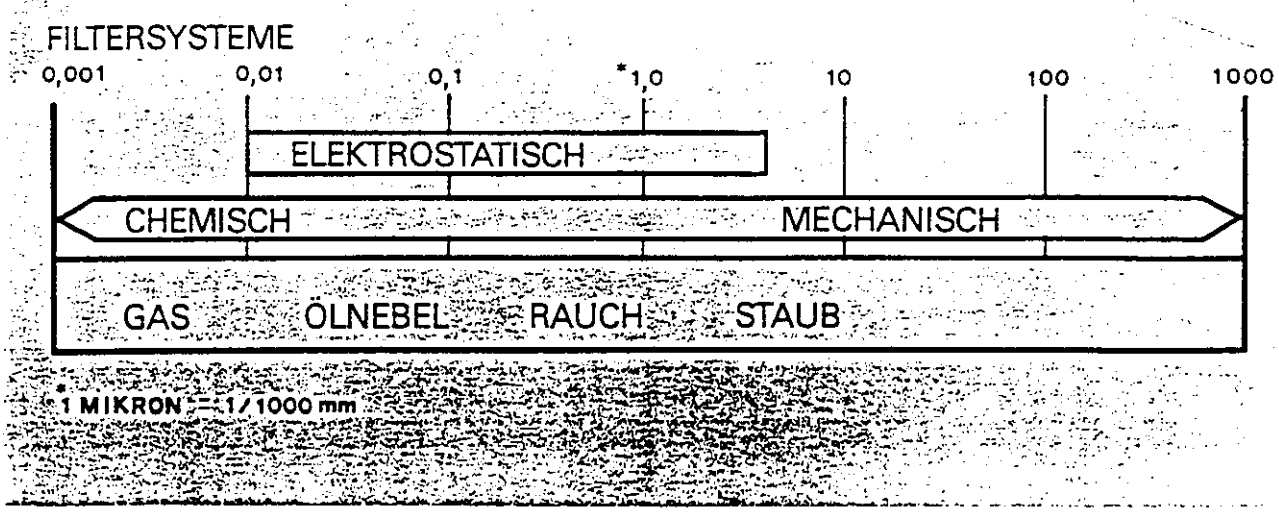
hohe Überdeckung
der Erodierstelle



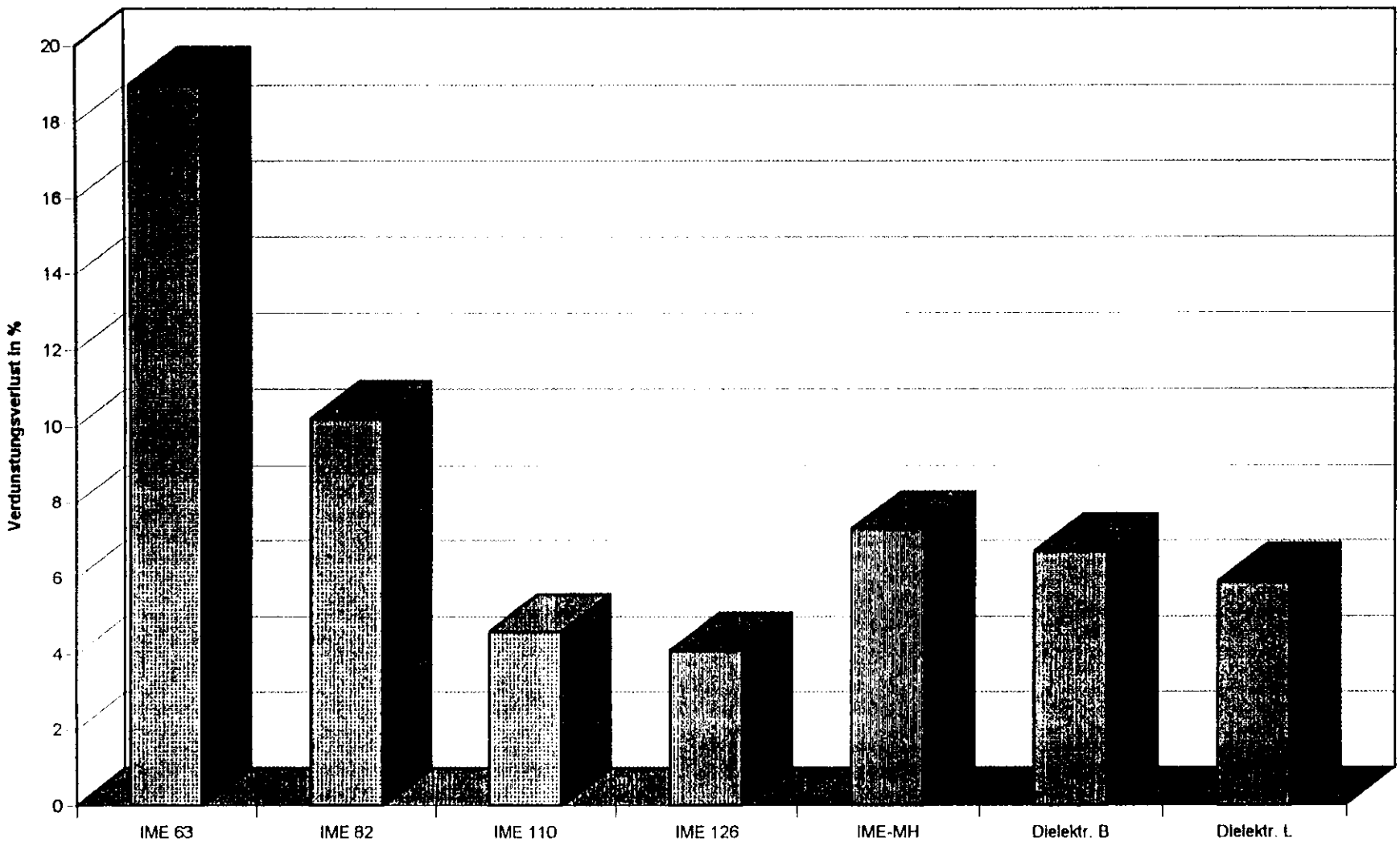
Typische oropharyngeale, bronchiale und gastrointerale Deposition von „Aerosolen".




Absaugrohr
verstellbar


FILTERSYSTEME
0,001
0,01
0,1
*1,0
10
100
1000
ELEKTROSTATISCH
CHEMISCH
MECHANISCH
GAS
ÖLNEBEL
RAUCH
STAUB
* 1 MIKRON = 1/1000 mm

Verdunstungsverluste unterschiedlicher Dielektrika nach 17 Tagen bei 50°C (50 mL im Becherglas)



krebserzeugende Stoffe entstehen könnten, fordert die Berufsgenossenschaft eine Absaugung der Dämpfe. Die abgesaugten Erodierdämpfe dürfen nicht mehr in den Arbeitsraum zurückgeführt werden. Dabei sind die Vorschriften des Bundesimissionsschutzgesetzes und der TA-Luft einzuhalten.

Geruch

Das ungebrauchte Dielektrikum sollte nichtriechend sein und auch bei Erwärmung keinen Geruch verursachen. Nach längerem Arbeiten mit dem Dielektrikum ist ein leichter Ozongeruch, der auf die elektrischen Entladungen zurückzuführen ist, üblich. Oft deutet auch ein saurer, stechender Geruch darauf hin, daß das Dielektrikum ausgetauscht werden sollte.

Schlammtragevermögen

Die beim Erodieren entstehenden Abtragspartikel von Werkstück und Elektrode, sowie die durch den elektrischen Funken entstehenden Kohlepartikel, stellen Verunreinigungen des Arbeitsmediums dar. Das Dielektrikum muß diese Teilchen aus der Arbeitszone transportieren. Dazu ist ein ausreichendes Schlammtragevermögen erforderlich. Die Schlammtragefähigkeit darf jedoch nicht zu groß sein, da sich sonst beim Filtrieren die Verunreinigungen nicht vom Dielektrikum trennen lassen. Zu starke Verunreinigungen bringen Kurzschlußreaktionen. Andererseits arbeitet ein Dielektrikum erst optimal, wenn geringe Mikropartikel, die die Ionisation begünstigen, im Dielektrikum enthalten sind. Diese Mikropartikel können auch zur Verbesserung des Anfangserodierverhaltens durch Additive künstlich in das Dielektrikum gebracht werden.

Alterungsbeständigkeit

Für die Wirtschaftlichkeit von Dielektrika ist die Alterungsbeständigkeit von großer Bedeutung. Je länger ein Produkt eingesetzt werden kann, desto günstiger ist das Preis / Leistungsverhältnis. Bei normalem Erodierbetrieb sollte das Dielektrikum bei Filtration mit Papierfiltern ca. zwei bis vier Jahre eingesetzt werden können. Beim Gebrauch in Anschwemmfilteranlagen sind heute bereits Einsatzzeiten von fast 25 Jahren bekannt, ohne daß das Dielektrikum ausgetauscht werden mußte. In diesen Fällen wurde jeweils nur nach Bedarf frische Ware nachgefüllt. Neben der Bestim-

mung der Alterung über die Infrarotspektralanalyse hat sich bis heute die Methode der Bestimmung der Neutralisationszahl (NZ/DIN 52558) als sehr zuverlässig erwiesen. Dielektrika mit einer Neutralisationszahl von über 1 mg/KOH/g sollen möglichst bald ausgetauscht werden.

Flammpunkt (DIN 51755)

Als Flammpunkt gilt die niedrigste Temperatur, bei der sich Dämpfe des Dielektrikums in solcher Menge entwickeln, daß in einer genormten Apparatur ein durch Fremdzündung entflammbares Dampf- / Luftgemisch entsteht. Je höher der Flammpunkt, desto sicherer ist der Umgang mit dem Dielektrikum. Nach dem Flammpunkt erfolgt auch die Einteilung der Dielektrika in Gefahrenklassen.

Gefahrenklasse :	A I	bis 21°C	z.B. Benzin
	A II	21 - 55°C	z.B. Petroleum, Testbenzin
	A III	55 - 100°C	z.B. Diesel, Heizoel- EL

Aufgrund der VDI- Richtlinie 3402 sind Stoffe mit einem Flammpunkt von unter 21°C für den Betrieb in Funkenerosionsanlagen nicht zugelassen. Zu beachten ist auch, daß Petroleum und Testbenzin meist noch unter die Gefahrenklasse A II fallen und daher besondere Sicherheitsvorschriften erfüllt sein müssen. Der überwiegende Teil der z. Z. eingesetzten Dielektrika fällt unter die Gefahrenklasse A III. Dielektrika mit einem Flammpunkt von über 100°C fallen im Sinne der Verordnung für brennbare Flüssigkeiten nicht mehr unter brennbare Stoffe. Für sie sind daher keine besonderen Sicherheitsmaßnahmen erforderlich.

FILTRATION DES DIELEKTRIKUMS

Damit das Dielektrikum seine Spülaufgabe optimal erfüllen kann, muß es von den Abtragspartikeln (Werkstückabtrag, Elektrodenabtrag) und von vercrackten Dielektrikumteilchen gereinigt werden. Außerdem muß das durch den Funkenerosionsprozeß erwärmte Dielektrikum wieder auf die normale Ar-

beitstemperatur von 20-30°C gekühlt werden. Bei zu hoher Temperatur des Dielektrikums ergeben sich sonst Ungenauigkeiten im Bearbeitungsprozeß und hohe Verdampfungsverluste für das Dielektrikum. Aus diesem Grunde besitzt jede Funkenerosionsmaschine eine Filteranlage, die folgende Funktionen erfüllen muß:

* Vorratsbehälter für das Dielektrikum
* Reinigen des aus dem Arbeitsbehälter abfließenden verschmutzten Dielektrikums
* Bereitstellen der notwendigen Reinflüssigkeitsmengen und Drücke für das Schnellbefüllen sowie für die Druck- und Saugspülung
* Kühlen des Dielektrikums (Luftkühlung, Wasserkühlung, Kühlaggregat)
* Aufbereiten der Rückspülflüssigkeit und des Filterrückstandes.

Patronenfilteranlage (s.Abb.)

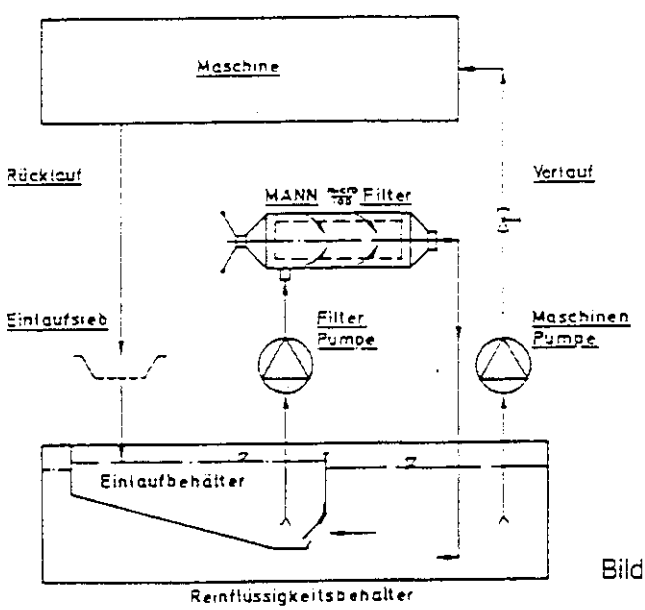
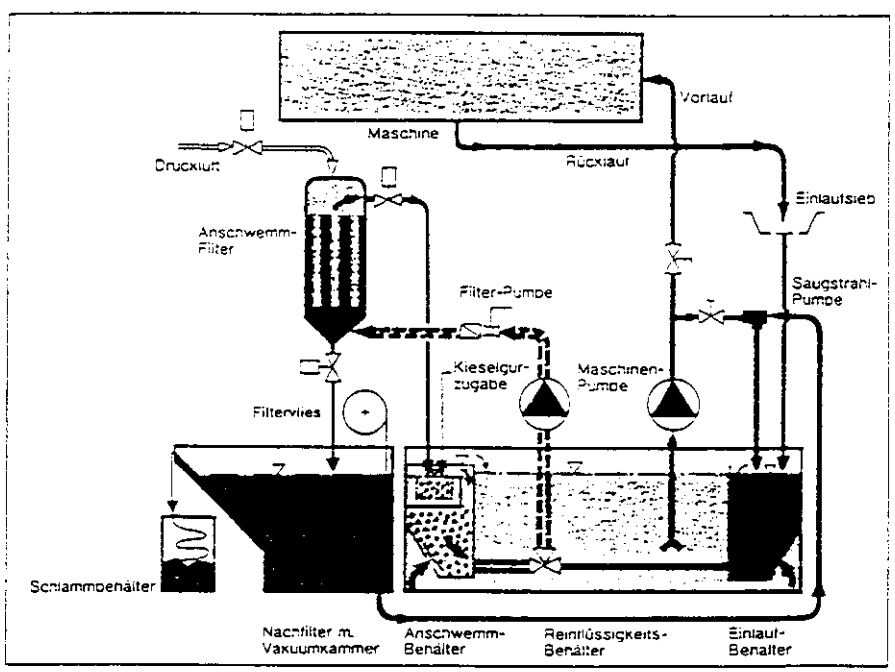


Bild 1

In der Praxis haben sich heute für die Filtration des Dielektrikums bei kleineren Funkenerosionsanlagen bis ca. 450 mm^3/min Abtragsleistung Pa-

tronenfilteranlagen gut bewährt. Die Patronenfilteranlagen sind einfache und von den Anschaffungskosten her gesehen preisgünstige Geräte, die im wesentlichen aus einem Vorratsbehälter, Filterpumpe, Maschinenpumpe, Patronenfilter, Kühler sowie der notwendigen Rohrleitungen bestehen. Die Bedienung der Anlage erfolgt manuell. Das Filterelement selbst ist in einem druckstabilen Gehäuse untergebracht und besteht aus einem sternförmig gefalteten Papierbalg, der um ein Mittelrohr angeordnet ist. Die Filterpatrone ist als Wegwerfelement ausgebildet. Ist die maximale Schmutzaufnahmekapazität der Patrone erreicht, so muß sie durch eine neue Filterpatrone ersetzt werden. Je nach Papiereinsätzen liegt die Filterfeinheit solcher Anlagen zwischen 1 und 5 µm. Dielektrikum IME kann bei normalem Betrieb in Papierfilteranlagen ca. 2 Jahre eingesetzt werden.

Anschwemmfilteranlagen (s. Abb.)



Bei großen Funkenerosionsanlagen empfiehlt sich der Anbau von sogenannten Anschwemmfilteranlagen. In diesen Anlagen wird vor Beginn der Filtration auf den Filterelementen zunächst eine gleichmäßige Filterhilfsschicht aufgeschwemmt. Diese Filterhilfsschicht kann aus Kieselguren, Rixid oder Zellulosen bestehen. Nach Beendigung des Anschwemmvorganges wird die Anlage wahlweise manuell oder automatisch auf Filterkreislaufbetrieb ge-

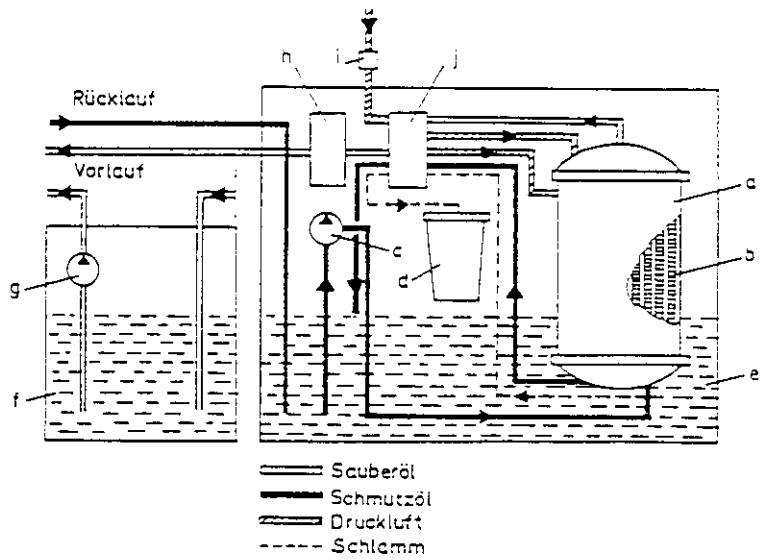
bracht. Bei Erreichen eines max. Differenzdruckes wird die Anschwemmfilteranlage zurückgespült und der gesamte auf den Filterelementen haftende Schmutz samt Filterhilfsmittel über ein Schlammablaßventil in den Nachfilter ausgestoßen. Nach Beendigung des Rückspülvorganges kann die Anschwemmfilteranlage erneut angeschwemmt und auf Filterkreislauf gebracht werden. Die Filterfläche der Anlage soll so groß bemessen sein, daß sie die innerhalb einer Arbeitsschicht anfallende Schmutzmenge aufnehmen kann, bevor zurückgespült werden muß. Mit Anschwemmfilteranlagen lassen sich Filterfeinheiten bis 1 µm erzielen. Im Durchschnitt werden beim Anschwemmvorgang 1 kg Kieselgur, bzw. 0,5 kg Rixid für 1 m² Filterfläche benötigt. Die Restfeuchte eines aus einer Anschwemmanlage ausgestoßenen Trockenschlammkuchens liegt je nach Dielektrikum bei ca. 10-30 Gewichtsprozent. Die Standzeit des Dielektrikums in Anschwemmanlagen ist sehr hoch, da durch Kieselgur, bzw. Rixid nicht nur ein mechanischer Reinigungsprozeß erfolgt, sondern auch bis zu einem gewissen Grad saure Bestandteile des Dielektrikums herausgefiltert werden. In Anschwemmfilteranlagen ist es auch möglich, Bleicherde als Filterhilfsmittel einzusetzen, um das Dielektrikum noch besser zu säubern. Es liegen heute Erfahrungswerte über Anschwemmanlagen vor, bei denen vor ca. 25 Jahren Dielektrikum IME eingefüllt wurde, das heute noch voll funktionsfähig ist. Lediglich Austrag- und Verdampfungsverluste mußten durch Nachfüllen ergänzt werden.

Das Transor-Filtersystem (s. Abb.)

Das Transor-Filtersystem ist durch die Verwendung des Spaltfilterprinzips in der Lage, ohne den Zusatz von Filterhilfsmitteln Filtrierergebnisse von 1 µm Filterfeinheit zu erzielen. In einem Druckbehälter sind Filterstäbe installiert, auf denen mehrere tausend feinster Spezialpapierscheiben montiert sind. Das verschmutzte Dielektrikum wird in den Druckbehälter gepumpt und von außen nach innen durch die Filterstäbe gepreßt. Da dieses System ohne Filterhilfsmittel arbeitet, entfällt der Vorgang des Anschwemmens. Die Spalten zwischen den Papierscheiben sind so eng, daß sich Verunreinigungen, die größer als 1 µm sind, auf der Oberfläche der

Filterstäbe ablagern. Sind die Filterstäbe verschmutzt, so erfolgt ein Rückspülungsprozeß, bei dem bereits filtriertes Dielektrikum in umgekehrter Fließrichtung durch die Filterstäbe gedrückt wird. Der auf der Oberfläche der Filterstäbe befindliche Schmutzbelag wird abgesprengt und kann aus einem Schlammkasten entnommen werden. Im Vergleich zur Anschwemmanlage ist die Schlammbildung gering, da kein Filterhilfsmittel vorhanden ist. Die Gebrauchsdauer der Filterstäbe beträgt im Durchschnitt ca. 15000 Betriebsstunden. Beim Transor-Filtersystem ist darauf zu achten, daß die Viskosität des Dielektrikums 4,0 cSt bei 20°C nicht überschreitet. Wasser führt zu einem Aufquellen der Papierblättchen. Eine Filtration ist dann nicht mehr möglich.

Schemadarstellung eines nach dem Spaltfilterprinzip arbeitenden Filtersystems für Dielektrikum
a Filtergehäuse, b Filterstäbe, c Filterpumpe, d Schlammbehälter, e Schmutzöltank, f Sauberöltank, g Versorgungspumpe, h Ölluftkühler, i Wasserabscheider und Reduzierventil für Druckluft, j Zentralventil mit Einhebelbedienung



ENTSORGUNG VON DIELEKTRISCHEN ARBEITSFLÜSSIGKEITEN

Dielektrische Arbeitsflüssigkeiten fallen unter die Altöl-Kategorie II, da es sich hierbei um Isolier- oder Metallbearbeitungsoele handelt, die auf Kohlenwasserstoffen aufgebaut sind. In der Regel enthalten Dielektrika kein Chlor, PCB und auch kein Formaldehyd. Dielektrika können wie Altöl für die Energienutzung eingesetzt werden und werden daher von jedem gesetzlich vorgeschriebenen Altölsammler angenommen.

Abfallschlüssel: ~~54109~~ 120 107

Abfallschlüssel Erodierschlamm: ~~54707~~ 120 111

Das Vermischungsverbot · Unbedingt zu beachten!

KATEGORIE I

Aufarbeitungsfähige Altöle

Motorenöle
Getriebeöle
Turbinenöle
Maschinenöle
Hydrauliköle

KATEGORIE II

Altöle für Energie-Nutzung

Metallbearbeitungsöle
Isoleröle
auf Mineralölbasis

Sorgen Sie dafür, daß Ihre aufarbeitungsfähigen Altöle und Ihre Altöle, die für die Energie-Nutzung bestimmt sind, nicht mit folgenden Fremdstoffen vermischt werden, denn sonst machen Sie aus Ihrem Altöl SONDERABFALL!

KATEGORIE III

Altöle = Sonderabfälle

Bremsflüssigkeiten
Glasschneidemittel
Frostschutzmittel
Batteriesäure
Lackrückstände
Ölschlämme
Öl-Wasser-Gemische
Lösungsmittel
Filter

Die getrennte Entsorgung dieser Stoffe wird durch Abfallbeseitiger vorgenommen!

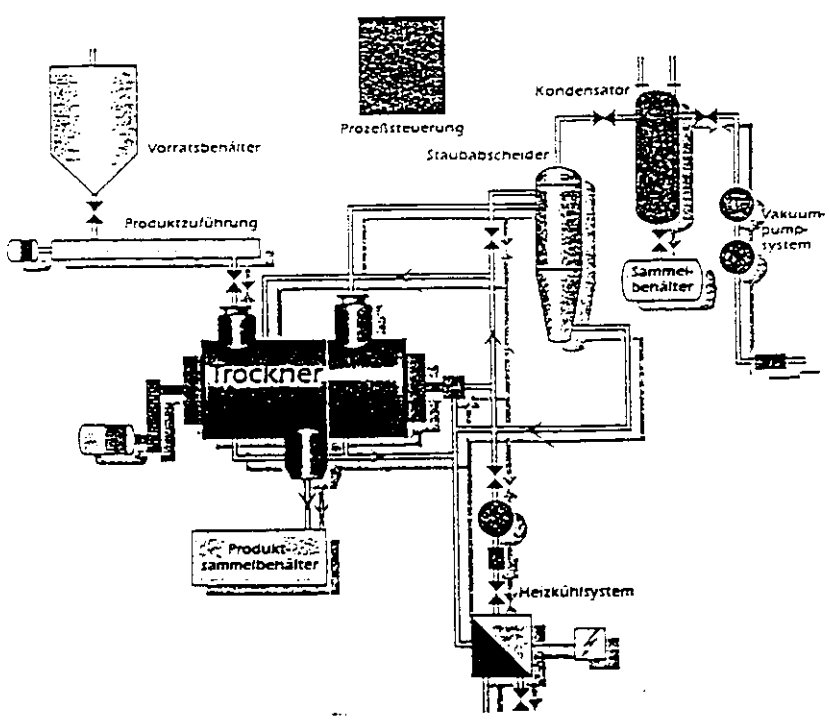
RECYCLING VON ERODIERSCHLAMM

Für das Recycling von Erodierschlamm bieten sich heute drei Möglichkeiten an:

1. thermische Behandlung des Erodierschlamms im Vakuum mit Destillation des Dielektrikums
2. energetische Verbrennung des Erodierschlamms im Röhrenofen
3. Herauslösen des Dielektrikums aus dem Erodierschlamm mit überkritischem CO_2.

Thermische Behandlung im Vakuum

Das Problem bei der thermischen Behandlung des Erodierschlamms im Vakuum ist der Wärmeübergang vom Heizsystem auf den Erodierschlamm. Der Erodierschlamm wird in einen Vakuumbehälter gefüllt und auf ca. 150°C erhitzt. Aufgrund des Vakuums verdampft das Dielektrikum und wird in einer Kältefalle wieder zurückdestilliert. Im Autoklaven bleibt dann nach einer Einwirkzeit von ca. 4 Std. ein trockenes Pulver zurück, das gepreßt und dann im Hochofen wieder verhüttet werden kann. Ein besonderes Verfahren benützt den Erodierschlamm direkt als induktive Heizung, indem mit einem speziellen Regelsystem direkt Strom auf den Erodierschlamm gegeben wird. Der Erodierschlamm hat eine Restfeuchtigkeit von ca. 2%.



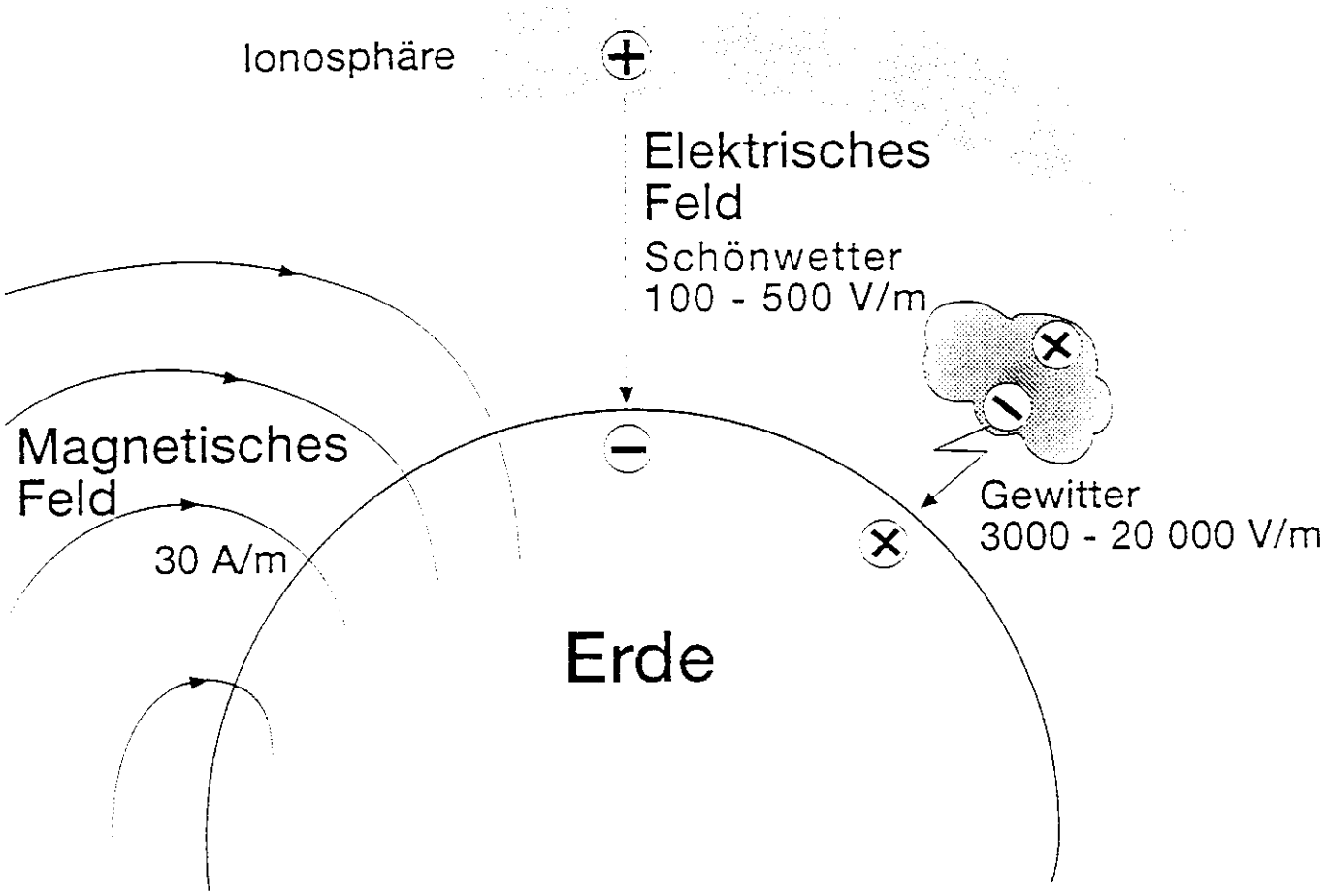
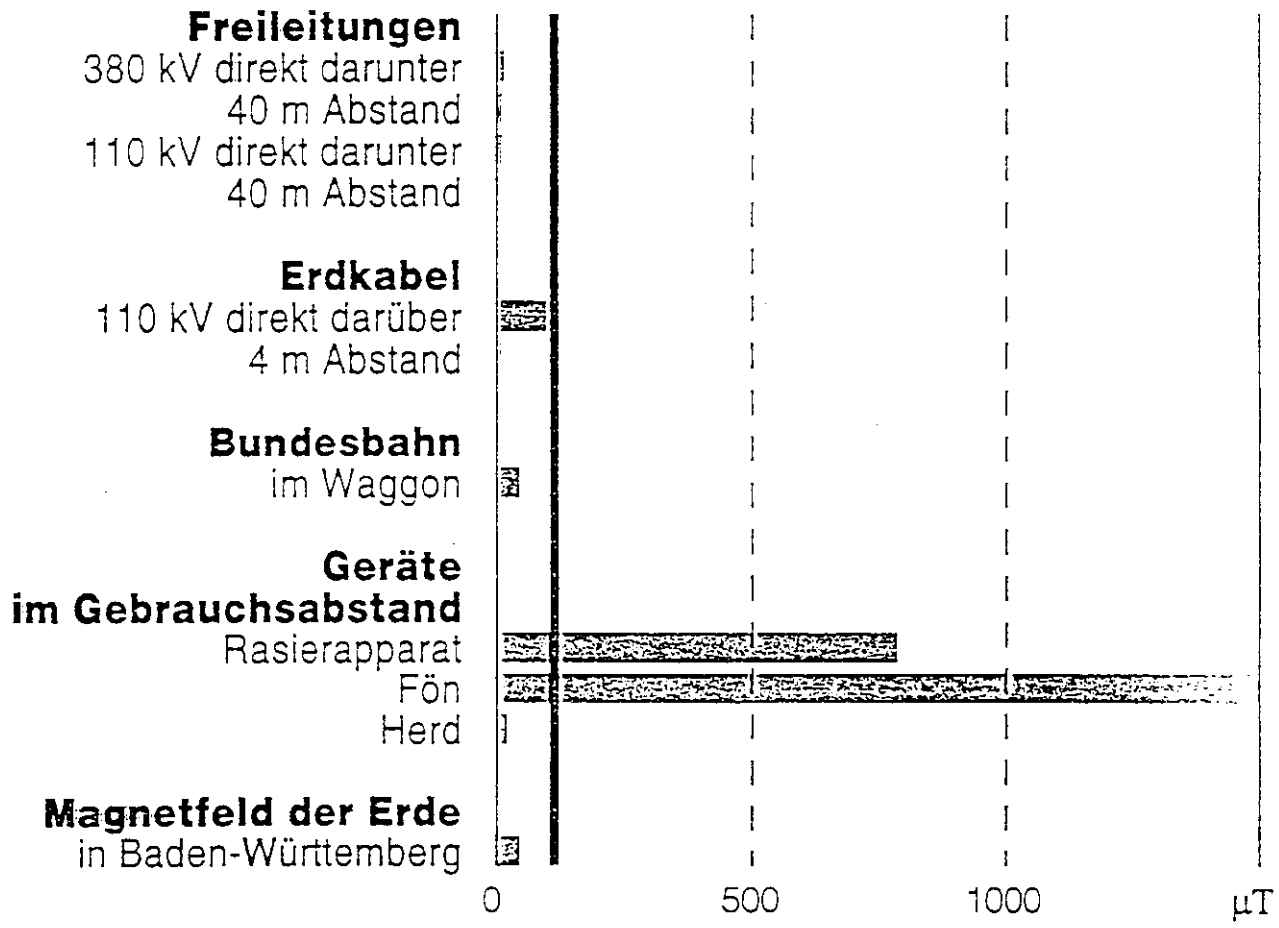


Bild 1: Natürliche elektrische und magnetische Felder; die Zahlenwerte gelten in Erdbodennähe (Quelle: RWE)

Magnetisches Feld in Mikrotesla (µT)



Grenzwert Empfehlung WHO und IRPA
Der Grenzwert in Deutschland liegt bei 5000 µT – und damit so weit über den Werten im Alltag, daß er diese Grafik sprengen würde.

DK 621.37.001.365

DEUTSCHE NORM

März 1993

	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Fachgrundnorm Störaussendung Teil 1: Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe Deutsche Fassung: EN 50 081-1:1992	DIN EN 50 081 Teil 1
VDE	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Vorstand beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter nebenstehenden Nummern in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekanntgegeben worden.	Klassifikation VDE 0839 Teil 81-1

Diese Norm enthält die Deutsche Fassung der Europäischen Norm EN 50 081-1

es VDE, Frankfurt am Main, gestattet.

EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

EN 50 081-1

Januar 1992

DK 621.37.001.365

Deskriptoren: Funkstörungen, elektromagnetische Verträglichkeiten, Prüfungen, Geräteschutz

Deutsche Fassung

Elektromagnetische Verträglichkeit
– Fachgrundnorm Störaussendung –

Teil 1: Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe

Tabelle 1: Störaussendung

Anschluß	Frequenzbereich	Grenzwerte	Grundnorm	Anwendbarkeit	Anmerkungen
Gehäuse	30 bis 230 MHz 230 bis 1000 MHz	30 dB (µV/m) in 10 m 37 dB (µV/m) in 10 m	EN 55 022 Klasse B	Siehe Anm. 1	Siehe Anm. X
Netz-wechsel-strom	0 bis 2 kHz		EN 60 555-2 EN 60 555-3	Siehe Anm. 2	Siehe Anm. X
	von 0,15 bis 0,5 MHz linear mit dem Logarithmus der Frequenz fallend	66 bis 56 dB (µV) Q*) 56 bis 46 dB (µV) M*)	EN 55 022 Klasse B		
	0,5 bis 5 MHz	56 dB (µV) Q*) 46 dB (µV) M*)			
	5 bis 30 MHz	60 dB (µV) Q*) 50 dB (µV) M*)			
	0,15 bis 30 MHz	Siehe Grundnorm zu diskontinuierlichen Störgrößen	EN 55 014		

ANMERKUNG 1: Gilt nur für Betriebsmittel, die Mikroelektronik, z. B. Mikroprozessoren, mit einer Arbeitsfrequenz oberhalb 9 kHz enthalten.

ANMERKUNG 2: Gilt für Betriebsmittel, die in den Anwendungsbereich der EN 60 555-2 und der EN 60 555-3 fallen. Grenzwerte für Betriebsmittel, die z. Z. nicht in EN 60 555-2 der EN 60 555-3 fallen, sind in Vorbereitung.

ANMERKUNG X: Es ist die statistische Auswertung entsprechend der Grundnorm anzuwenden.

*) Q = Messung mit dem Quasispitzenwert-Gleichrichter;
M = Messung mit dem Mittelwert-Gleichrichter.

DK 621.37.001.365 : 621.391.82

DEUTSCHE NORM

März 1994

	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Fachgrundnorm Störaussendung Teil 2: Industriebereich Deutsche Fassung EN 50081-2:1993	DIN EN 50 081 Teil 2
VDE	Diese Norm ist zugleich eine **VDE-Bestimmung** im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Vorstand beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter nebenstehenden Nummern in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekanntgegeben worden.	Klassifikation VDE 0839 Teil 81-2

Frankfurt am Main, gestattet

EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

EN 50081-2

August 1993

DK 621.37.001.365 : 621.391.82

Deskriptoren: Funkstörungen, Elektromagnetische Verträglichkeit, Prüfungen, Geräteschutz

Deutsche Fassung

Elektromagnetische Verträglichkeit
Fachgrundnorm Störaussendung
Teil 2: Industriebereich

Tabelle 1: Störaussendung

	Anschluß	Frequenzbereich	Grenzwerte	Grundnorm	Anwendbarkeit	Anmerkungen
1.1	Gehäuse	30 bis 230 MHz	30 dB (µV/m) Q*) in 30 m Entfernung	EN 55011	Siehe Anm. 1	Siehe Anm. 4
		230 bis 1000 MHz	37 dB (µV/m) Q*) in 30 m Entfernung			
1.2	Netz-wechsel-strom	0.15 bis 0.5 MHz	79 dB (µV) Q*) 66 dB (µV) M*)	EN 55011	Siehe Anm. 2 Siehe Anm. 3	
		0.5 bis 5 MHz	73 dB (µV) Q*) 60 dB (µV) M*)			
		5 bis 30 MHz	73 dB (µV) Q*) 60 dB (µV) M*)			

ANMERKUNG 1: Messungen am Aufstellungsort sind von dieser Norm ausgenommen.

ANMERKUNG 2: Pulsförmige Störungen (Knackstörungen), die nicht öfter als 5mal in der Minute auftreten, werden nicht berücksichtigt. Für Knackstörungen, die öfter als 30mal in der Minute auftreten, gelten die Grenzwerte von Tabellenzeile 1.2. Für Knackstörungen, die öfter als 5mal und nicht öfter als 30mal in der Minute auftreten, gilt eine Erleichterung gegenüber den Grenzwerten von Tabellenzeile 1.2 nach der Formel 20 log 30/N dB, wobei N die Anzahl der Knackstörungen in der Minute ist. Kriterien für einzelne Knackstörungen können in der Produktfamiliennorm EN 55014 gefunden werden.

ANMERKUNG 3: Gilt nur für Betriebsmittel mit einer Betriebsspannung unter 1000 V.

ANMERKUNG 4: Kann auch in 10 m Entfernung gemessen werden unter Anwendung von um 10 dB erhöhten Grenzwerten, wenn die Anforderungen von EN 55011 erfüllt sind.

*) Q = Messung mit dem Quasispitzenwert-Gleichrichter;
M = Messung mit dem Mittelwert-Gleichrichter.

Verfahrensoptimierung beim Gleitschleifen Kreislaufführung, Einsparung von Hilfsstoffen, Abwasserreduzierung

Ulrich Siemers, Reitter & Schefenacker GmbH, Schwaikheim

1 Firmenkurzportrait

Die Reitter & Schefenacker GmbH & Co KG ist ein mittelständisches Familienunternehmen. Es wurde 1935 in Esslingen gegründet und liefert seit 1938 Kraftfahrzeugleuchten. Heute produziert Reitter & Schefenacker an den Standorten Esslingen, Schwaikheim, Oberrot, Geislingen und in Ungarn, Slowenien und in den USA Komponenten für die Automobilhersteller.
Die wesentlichen Produkte sind Rückleuchten, Innen- und Außenspiegel, Kunststoffscheiben, Griffleisten und Soundsysteme.

2 Teileherstellung

In den Innen- und Außenspiegeln befindet sich eine Vielzahl von Zink- und Aluminiumdruckgußteilen. Diese sind an montierten Spiegeln fast alle unsichtbar, weil sie von lackierten Kunststoffteilen verdeckt sind. Dennoch müssen sie höchste Qualitätsansprüche an Funktionalität und Korrosionsbeständigkeit erfüllen. Die Herstellung der Druckgußteile erfolgt in folgenden Prozeßschritten:

- Alu- bzw. Zinkdruckguß
- mechanische Bearbeitung
- Entgratstanzen
- Gleitschleifen
- Oberflächenveredelung (galvanisch und/oder lackieren)
- Transport zur Endmontage

Nicht alle Druckgußteile durchlaufen den Prozeßschritt Gleitschleifen, insgesamt sind es täglich ca. 25.000 Einzelteile im Dreischichtbetrieb, die gleitgeschliffen werden müssen. Dabei ist die Stückzahl der Zink- und Aluminiumteile annähernd gleich.

3 Allgemeines zum Gleitschleifen

Das Gleitschleifen ist ein mechanisch/chemisches Verfahren zum Entgraten, Kantenrunden, Feinschleifen und Reinigen von Massen- und Serienteilen.
Die zu bearbeitenden Werkstücke werden in eine größere Menge Schleifkörper eingebettet, denen kontinuierlich in Wasser gelöste Behandlungsmittel zudosiert werden. Durch Vibration bzw. Rotation (bei Glocken in Achteckform) werden dem Gemisch ständig wechselnde Impulse aufgezwungen, die zu Relativbewegungen und intensiver Umwälzung führen. Hierdurch wird der Schleifvorgang erreicht.

Das kontinuierlich zugesetzte Wasser/Behandlungsmittelgemisch sorgt für eine ständige Austragung von Schleifkörper- und Metallabrieb aus dem Ablauf der Gleitschleifmaschine, verhindert ein Verschmutzen der Schleifkörper und Behandlungsmittel und sorgt parallel mit der Vibration für die gewünschte Oberfläche der zu bearbeitenden Teile.

Die so behandelten Teile werden anschließend getrocknet und stehen weiteren Bearbeitungen zur Verfügung.

4 Ausgangslage 1992

Im Jahre 1992 verbrauchte der Standort Schwaikheim von Reitter & Schefenacker 30.000 m^3 Wasser und bei der Herstellung von Zink- und Aluminiumteilen fielen ca. 70 t zinkhaltiger Galvanikschlamm an. Der hohe Wasserverbrauch resultierte u.a. aus dem Gleitschleifen.

4.1 Anlagentechnik bis 1993

Für das Gleitschleifen hatte Reitter & Schefenacker bis 1993 zwei Langtröge Typ VS 1000 von Walther Trowal mit seitlichem Austrag und zwei kleine Rundvibratoren. Alle Anlagen waren mindestens 20 Jahre alt und damit am Ende ihrer technischen Nutzungszeit. Außerdem wurden viele empfindliche Teile in den Durchlaufanlagen durch den seitlichen Austrag beschädigt. Deshalb sollte eine neue Anlage mit der Kapazität der zwei Langtröge und geradem Austrag gekauft werden. In diesem Zusammenhang wurden auch die bisherige Prozeßwasserführung und die Behandlung des Abwassers in Frage gestellt und resourcenschonendere und wirtschaftlichere Alternativen geprüft.

4.2 Wasserführung bis 1993

Bis 1993 wurde das zum Gleitschleifen benötigte Wasser/Behandlungsmittelgemisch nur im Durchlauf genutzt und nach dem Gleitschleifen als Abwasser direkt der Abwasserbehandlungsanlage zugeführt. Die Behandlung erfolgte in folgenden Schritten (s. Verfahrensschema):

- Ansäuren, um alle Zinkteilchen in Lösung zu bringen
- Neutralisieren
- Flocken
- Filtrieren.

Ein Problem bei diesem Verfahren war, daß die firmeneigene Entgiftung ca. 100 m von der Gleitschleifanlage entfernt aufgebaut war. Das Schmutzwasser mußte also über weite Strecken gepumpt werden. Die Rohrleitung verstopfte regelmäßig, weil der Gleitschleifschlamm sedimentierte.

In der Entgiftung befanden sich Pufferbehälter, in denen das Wasser mit Hilfe von Druckluft in Bewegung gehalten wurde. Trotz der damit erzielten Sauerstoffanreicherung roch das Wasser sehr stark. Die Pufferbehälter waren rechteckig und konnten nicht restlos geleert werden, so daß am Montag häufig ein regelrechter Faulschlamm in den Behältern stand. Die Geruchsbelästigung war dann sehr hoch.

Zur Abtrennung der Flocken aus dem Wasser stand nur eine Filterpresse zur Verfügung, mit der auch das Abwasser der Galvanik gereinigt wurde. Der Gleitschleifschlamm mußte stets in Galvanikschlamm „eingepackt“ werden, denn wenn der Gleitschleifschlamm direkt auf die Filtertücher aufgegeben wurde, bildete sich eine betonartige Schicht, die kein Wasser mehr durchließ und deshalb unbedingt zu vermeiden war.

Da Reitter & Schefenacker den Schlamm aus der Filterpresse als zinkhaltigen Galvanikschlamm entsorgte, waren die organischen Bestandteile aus dem Gleitschleifprozeß ein weiteres Problem (TOC-Gehalt).

Ab Anfang 1993 wurde es Reitter & Schefenacker nicht mehr erlaubt, den Gleitschleifschlamm mit dem Galvanikschlamm gemischt zu entsorgen.

Da das Wasser/Behandlungsmittelgemisch nur einmal genutzt wurde, fielen täglich ca. 25 m^3 Abwasser an. Dieser sehr hohe Wasserverbrauch wurde von Behördenseite nicht länger toleriert.

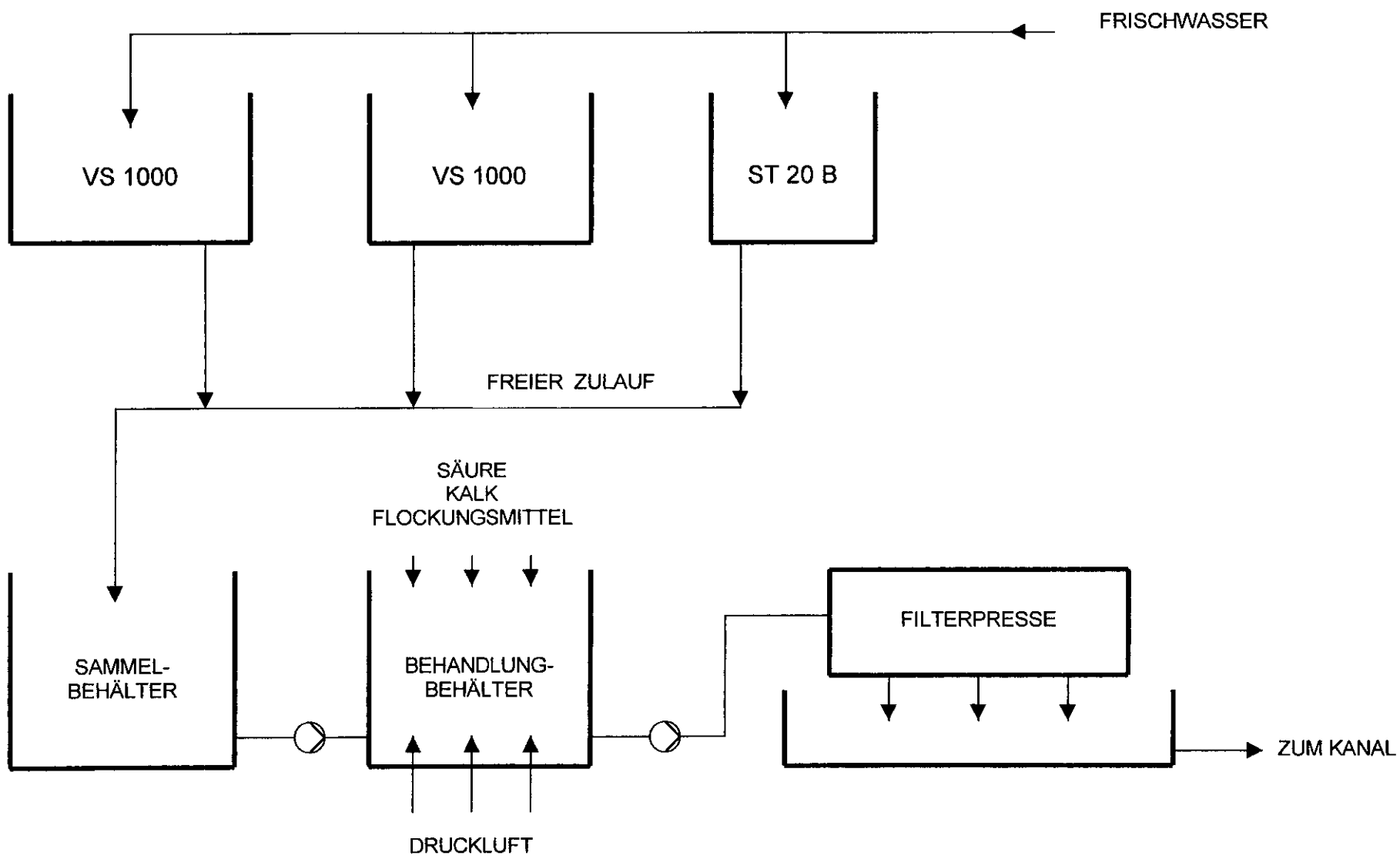
Gleichzeitig stellten die Kosten für das Wasser, die Chemikalien und die Personalkosten für die Abwasserbehandlung ein großes Einsparpotential dar. Allein das Wasser kostete ca. 40.000 DM pro Jahr. Dazu kamen die verschiedenen Chemikalien mit ca. 15.000,- DM pro Jahr.

Für Reitter & Schefenacker bestand 1992 also folgende Ausgangslage:

1. Es sollte eine neue Gleitschleifanlage beschafft werden.
2. Der Schlamm aus dem Gleitschleifprozeß mußte getrennt vom Galvanikschlamm entsorgt werden.
3. Der Wasserverbrauch mußte gesenkt werden.
4. Der Aufwand für die Abwasserbehandlung sollte verringert werden.

SCHEFENACKER

VERFAHRENSSCHEMA GLEITSCHLEIFEN BIS 1993



4.3 Versuchsphase

Nach Versuchen im Technikum und Kapazitätsberechnungen entschied sich Reitter & Schefenacker eine Durchlaufanlage AV2200 von Walther Trowal zu kaufen.
Für die Probleme Wasserverbrauch und Schleifschlammanfall bzw. Entsorgung wurden verschiedene Lösungsmöglichkeiten untersucht. Am wirtschaftlichsten erschien eine Wasserreinigung mittels Zentrifuge und Rückführung des gereinigten Wassers zu den Gleitschleifanlagen. Deshalb wurde eine Schälzentrifuge ausgeliehen und Versuche „vor Ort" durchgeführt. Dabei zeigte sich, daß diese Lösung technisch machbar ist und eine Mehrfachnutzung des Wasser/Behandlungsmittelgemisches auch bei dem Teile- und Materialspektrum von Reitter & Schefenacker möglich ist.
Der prinzipiellen Machbarkeit standen erhebliche Bedenken der Produktionsfachleute gegenüber. Es wurde befürchtet, daß

1. die Teile nicht mehr sauber genug für die nachfolgende Oberflächenveredelung sein würden und
2. es wurde nicht ausgeschlossen, daß die Oberflächen nicht mehr so gut wie mit Frischwasser geschliffen werden würden.

Außerdem mußte die Leihzentrifuge manuell geleert werden, was für den Dreischichtbetrieb als nicht praktikabel abgelehnt wurde.
Als Konsequenz aus diesen Bedenken wurde die Spülung auf der Siebmaschine so ausgelegt, daß sie auch mit Frischwasser betrieben werden kann und es wurde eine Zentrifuge mit automatischem Austrag beschafft.
Eine weitere Unsicherheit bestand darin, ob das Wasser nicht einen zu starken Geruch entwickeln würde. Wie oft konnte das Wasser benutzt werden, bevor es entsorgt werden mußte? Und wie entsorgt man das Wasser dann? In den Versuchen ließ sich die erste Frage nicht endgültig klären, aber für die zweite Frage gab es eine einfache Lösung, indem man einen zweiten Kreislauf aufbaute. Wenn das Kreislaufwasser zu stark anfängt zu riechen, pumpt man einen Teil in einen weiteren Behälter und ersetzt die Menge im Kreislauf durch Frischwasser. Das Abwasser kann dann unabhängig vom Kreislauf behandelt und entsorgt werden.

4.4 Wasserführung ab 1993

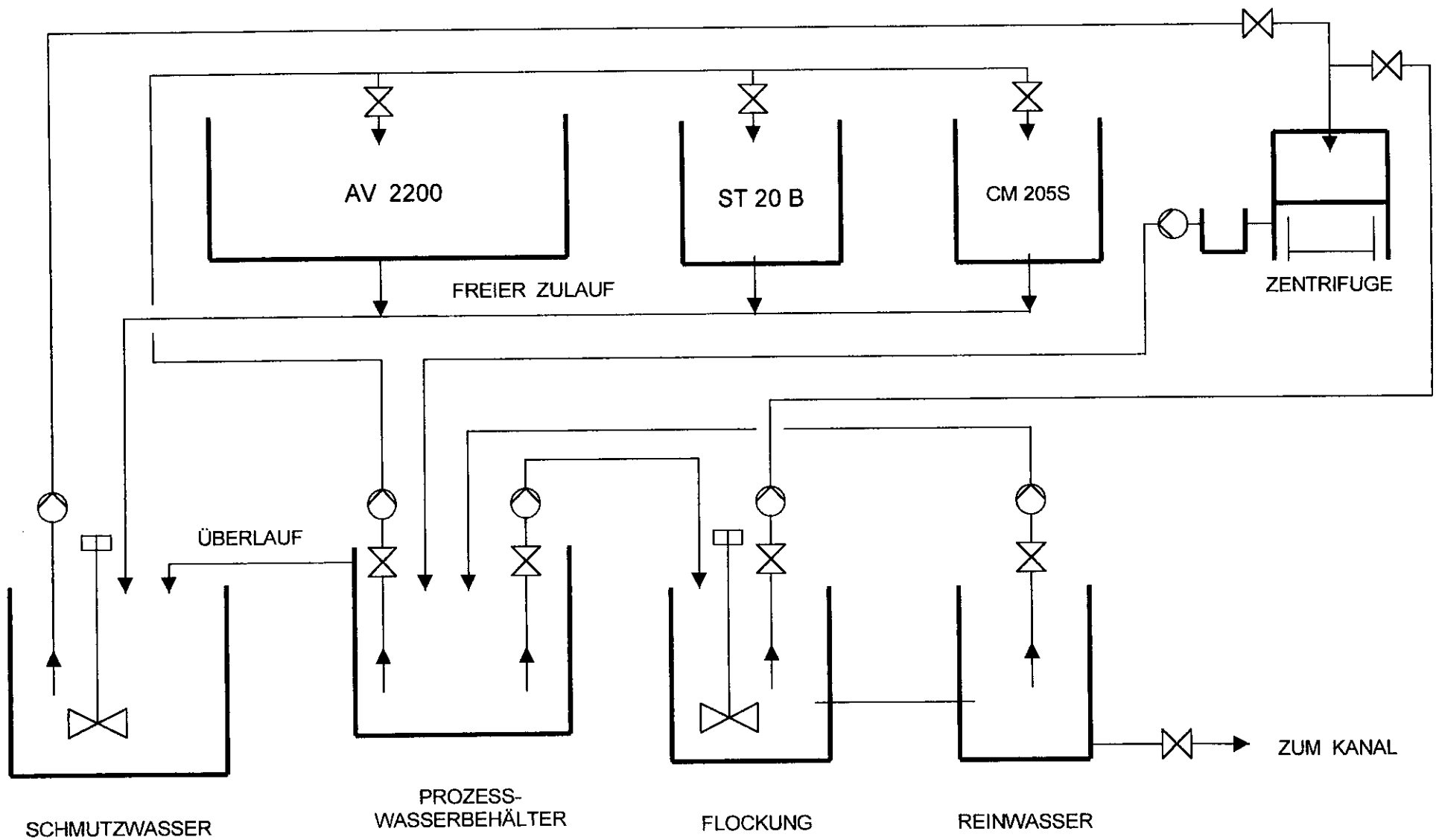
Nach den Versuchen entschloß sich die Firma Reitter & Schefenacker, die Kreislaufführung des Wassers beim Gleitschleifen einzuführen.
Der Auftrag für die Zentrifuge wurde im Paket mit dem neuen Langtrog und einem kleinen Rundtrog an die Firma Walther Trowal vergeben. Ebenfalls zum Lieferumfang gehörte die Verfahrensauslegung, alle erforderlichen Pumpen, die Fördertechnik für die Werkstücke und der Trockner.
Der Auftrag wurde in mehreren Schritten realisiert, weil die Zentrifuge vorab installiert wurde, um den Schlamm getrennt vom Galvanikschlamm entsorgen zu können. Als Behälter für das Schmutzwasser und das gereinigte Wasser standen 2 PE-Behälter mit je 10 m^3 Inhalt zur Verfügung. Im Kreislauf befinden sich ca. 15 m^3 Wasser. Die Zentrifuge hat einen maximalen Durchsatz von 1,5 m^3/h.
Die Abwasserbehandlung sollte in der Nähe der Behälter für die Kreislaufanlage stattfinden und bei der Entwässerung des Schlammes aus der Flockung sollte die gleiche Zentrifuge benutzt werden.
Die Abwasserbehandlung geschieht in folgenden Schritten (s. Verfahrensschema):

- Umpumpen von ca. 7 m^3 Kreislaufwasser aus dem Prozeßwasserbehälter
- Zugabe von einem Flockungsmittel unter ständigem Rühren
- Absetzenlassen der Flocken
- Abziehen der Klarphase in einen weiteren Behälter mit ca. 5 m^3 Inhalt
- Abtrennen des verbleibenden Schlammes mit der Zentrifuge, Zurückführen des Zentrifugates in den Kreislauf
- Das klare Wasser wird analysiert und, wenn das Analyseergebnis in Ordnung ist, über einen Endfilter abgelassen.

Die o.g. Behandlung ist ca. alle zwei Wochen erforderlich, wobei die Gleitschleifanlagen dreischichtig an fünf Tagen laufen und die Zentrifuge auch am Wochenende durchläuft.

SCHEFENACKER

VERFAHRENSSCHEMA GLEITSCHLEIFEN AB 1993



4.5 Erweiterung der Anlage 1998

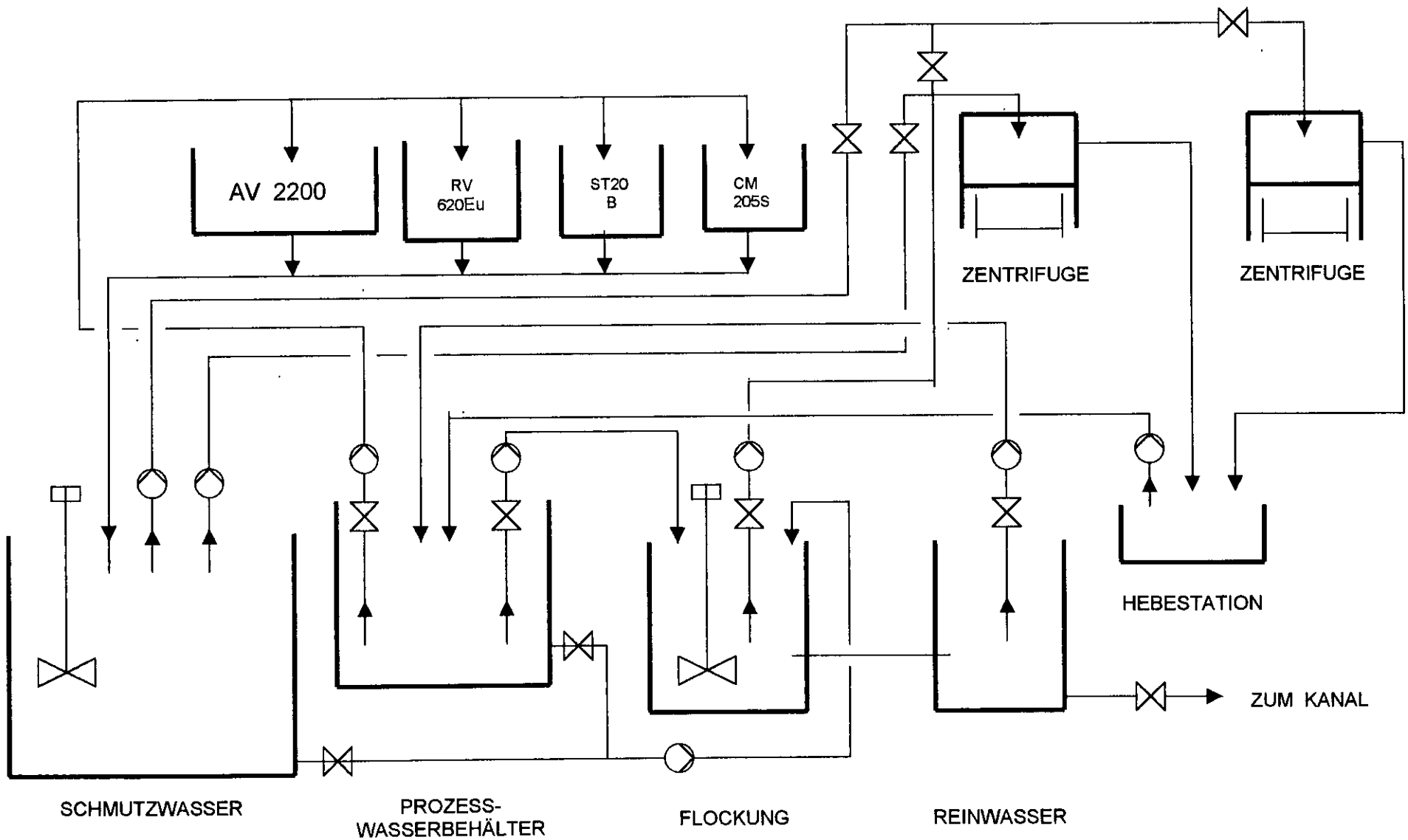
Im Jahre 1998 wurde eine Fertigungsinsel aufgebaut, in der Teile gegossen, gestanzt, bearbeitet und in neuen Gleitschleifanlagen geschliffen werden. Die Teile werden nach dem Gleitschleifen direkt auf die Lackiergehänge aufgesteckt. Zwischen den einzelnen Bearbeitungsstufen gibt es keine Zwischenpuffer und die Transporte sind auf ein Minimum reduziert.
Die zwei neuen Gleitschleifanlagen wurden an den Wasserkreislauf mit angeschlossen. Um die erhöhte Wassermenge abreinigen zu können, mußte eine zweite Zentrifuge angeschafft werden. Es wurde eine Rösler Zentrifuge Typ Z1000 ASS II-Turbo mit einem maximalen Durchsatz von 3,5 m^3/h installiert. Beide Zentrifugen laufen in der Regel parallel im Prozeßwasserkreislauf. Nach dem Flocken wird eine Zentrifuge auf den Flockungswasserkreis umgeschaltet und zur Entwässerung des geflockten Schlammes benutzt.

5 Betriebserfahrungen mit der Kreislaufführung

Probleme hat es nach der Einführung des Wasserkreislaufes mit Schleifschlammresten in den Winkeln und Sacklöchern der Druckgußteile gegeben. Da diese auf der Siebmaschine nur von oben besprüht werden, werden die Schlammreste nicht immer sauber herausgespült. Die Teile werden anschließend direkt durch den Trockner gefördert, wobei der Schlamm fest antrocknet.
Es wurde bereits erwogen, eine Waschzone zwischen Siebmaschine und Trockner einzubauen, um die Teile besser zu reinigen. Durch einen zweiten Sprühkranz auf der Siebmaschine wurde die Reinigung aber so verbessert, daß auf die Waschzone verzichtet werden konnte. Die jetzt noch verbleibenden Schlammreste auf den Teilen werden in der Waschanlage vor dem Galvanisieren bzw. Lackieren problemlos abgewaschen.
Das recht große Volumen der Prozeßwasserbehälter hat sich als großer Vorteil erwiesen, weil damit auch mehrstündige Stillstände der Zentrifuge nicht zum Abschalten der Gleitschleifanlagen geführt haben. Im Notfall konnte durch

SCHEFENACKER

VERFAHRENSSCHEMA GLEITSCHLEIFEN SEIT 1998



Umpumpen und Flocken des Schmutzwassers mit anschließendem Zurückpumpen der geklärten Phase in den Reinwasserbehälter die Betriebszeit der Gleitschleifanlage trotz Stillstands der Zentrifuge noch weiter verlängert werden. Durch die zweite Zentrifuge wurde die Ausfallsicherheit der Anlage noch einmal erhöht werden.
Ein Nachteil ist die Bauform der Behälter. Sie sind zwar rund, haben aber einen flachen Boden, auf dem sich immer wieder eine Schlammschicht absetzt. Mit Hilfe eines selbstgebauten „Bodensaugers" ist aber auch dieses Problem befriedigend gelöst worden.
Bei dem Compound und bei dem Hilfsmittel, das zur besseren Schlammabsetzung im Schmutzwasserbehälter zugegeben wird, wurden zunächst Produkte von Walther Trowal eingesetzt.
Tests mit Rösler Compound ergaben eine viel zu hohe Zinkkonzentration im Schmutzwasser und auch im Reinwasser nach der Flockung (30 mg/l), was auf Komplexbildner im Compound zurückzuführen war. Erst nachdem diese heraus waren, konnten auch mit Chemikalien von Rösler die Grenzwerte für die Einleitung des Abwassers in die öffentliche Kanalisation deutlich unterschritten werden.
Die charakteristischen Werte in unserem Abwasser betragen beispielhaft im Juni 1999.

Stoff	Wasserprobe	Grenzwerte
Aluminium	2,5 mg/l	10 mg/l
Kupfer	n.n.	0,5 mg/l
Eisen	0,91 mg/l	10 mg/l
Zink	0,19 mg/l	2 mg/l
Kohlenwasserstoffe	2,2 mg/l	20 mg/l
AOX	n.n.	1 mg/l

Der CSB-Wert ist mit Werten um 5000 mg/l immer sehr hoch, aber weil Reitter & Schefenacker Indirekteinleiter ist, muß der CSB-Wert nicht beachtet werden.
Seitdem der Kreislauf installiert wurde, wurden 572 m^3 Frischwasser benötigt, d.h. pro Jahr ca. 100 m^3.

5.1 Betriebserfahrungen mit der Zentrifuge

Nachdem die neue Gleitschleifanlage AV2200 von Walther Trowal in Betrieb genommen war, konnte die Zentrifuge auf ihrem endgültigen Standplatz installiert werden. Um sie leichter kontrollieren zu können, sollte die Zentrifuge im gleichen Raum wie die Gleitschleifanlagen installiert werden. Der Raum liegt zwei Stockwerke über den Wasserbehältern. Das Schmutzwasser läuft also zunächst mit Gefälle von der Gleitschleifanlage in den Keller und von dort muß es wieder in die Zentrifuge hochgepumpt werden. Das gereinigte Prozeßwasser aus der Zentrifuge sollte ebenso in freiem Gefälle wieder in den Prozeßwasserbehälter laufen. Das funktionierte nicht, die Leitung verstopfte sehr schnell, so daß ein weiterer 60 l Behälter mit Tauchpumpe direkt hinter der Zentrifuge aufgestellt wurde. Danach gab es keine Verstopfungsprobleme in dieser Leitung mehr. Die Abwasserleitung hinter der Gleitschleifanlage muß ca. alle vier Monate gereinigt werden, da sie sonst völlig verstopft. Alle Leitungen wurden mit PVC-Rohren aufgebaut.

Die erste Zentrifuge ist eine von oben befüllte Schälzentrifuge von GFT. Mit einem Durchsatz von bis zu 1500 l/h war sie eine der ersten dieser Größenklasse, die vollautomatisch Schälen konnte. Nach ca. sechs Wochen traten erste Probleme mit der Trommel auf. Sie hatte einen Riß bekommen und mußte ausgewechselt werden. Auch mit der neuen Trommel gab es Probleme, diesmal an der Lagerung der Trommel. Es wurde ein neukonstruiertes Oberteil mit größeren Lagern eingesetzt.

Bei Einhaltung der Wartungsvorschriften für die Lager und bei regelmäßiger Reinigung der Trommel läuft die Zentrifuge seitdem einwandfrei. Die Lager haben eine Standzeit von ca. 18 Monaten.

Die zweite Zentrifuge entspricht in ihrem Aufbau der verbesserten ersten Zentrifuge. Probleme gab es in den bisherigen 20 Betriebsmonaten nicht.

Einem größeren Verschleiß unterliegen die Druckluftmembranpumpen, die das Schmutzwasser aus dem Keller zur Zentrifuge fördern. Diese müssen ca. alle 2 Monate getauscht werden, weil sie dann beschädigt oder verschlissen sind.

6 Wirtschaftlichkeit

Der Wasserverbrauch konnte durch die Kreislaufführung von 25 m^3 pro Tag auf 0,5 m^3 pro Tag gesenkt werden. Die Kosten für Salzsäure und Natronlauge sind ganz entfallen, dafür wird ein Hilfsmittel zudosiert, das Kosten von ca. 5000,- DM pro Jahr verursacht.

Als Flockungsmittel wurden bis 1993 Alifat und Alifloc-A von Cealin eingesetzt, seither wurden Flockungsmittel von Walther und Rösler eingesetzt. Pro Charge (7m^3) werden ca. 25 kg benötigt, d.h. pro Charge kommen Kosten von ca. 100,- DM hinzu.

Der stichfeste Schlamm wird in Big Bags umgefüllt. Diese werden von dem Chemikalienlieferanten verwertet. Die Kosten betragen derzeit ca. 1000 DM pro Big Bag. Pro Jahr fallen 10 - 11 Big Bags an.

Den Vergleich der jährlichen Behandlungskosten (in DM;ohne Personal) von 1992 zu 1998 zeigt folgende Tabelle:

	1992	1998
Salzsäure	2.850,-	--
Kalk	3.680,-	--
Flockungsmittel	8.510,-	2.000,-
Zentrifugierhilfsmittel	--	5.000,-
Summe	15.040,-	7.000,-
Wasserbedarf	5.750 m^3	100 m^3

Aus der Tabelle wird deutlich, daß die Einsparung durch die Kreislaufführung größtenteils aus der Wassereinsparung resultiert.

Ein Vergleich mit den Entsorgungskosten vor 1993 ist nicht möglich, weil die Schlammenge vom Gleitschleifen nicht getrennt erfaßt werden konnte.

7 Zusammenfassung

Durch die Umstellung der Wasserführung beim Gleitschleifen vom einmaligen Durchlauf auf Mehrfachnutzung durch Kreislaufführung konnten nicht nur gesetzliche Forderungen erfüllt, sondern auch wirtschaftliche Vorteile bei gleichbleibender Fertigungsqualität erzielt werden.

Schleif- und Bearbeitungsschlämme
Prozeßoptimierung, innerbetriebliche Behandlung

Thomas Ritzenfeldt, GETRAG, Ludwigsburg

Schleif- und Bearbeitungsschlämme / Prozessoptimierung, innerbetriebliche Behandlung, Verwertungsoptionen

Die Verwertung / Entsorgung von ölhaltigen Schleifschlämmen ist vor allem ein Thema für die metallverarbeitende Industrie, insbesondere ein Schwerpunktthema der ABAG-itm/Fellbach zur Reduzierung der Sonderabfallmengen in Baden Württemberg.

In Baden Württemberg fallen nach Schätzungen der zuständigen Behörden und Institutionen jährlich über 20.000 to Schleifschlämme an. Für das gesamte Bundesgebiet geht man derzeit von einer Schleifschlammmenge von ca. 200.000 to/Jahr aus.

Eine Umfrage zum Aufkommen von ölhaltigen Schleifschlämmen (emulsions- und ölbehaftet) des LVI - Baden-Württemberg hat ergeben, daß die Restfeuchtigkeit (Öle, Emulsionen) zwischen 1 - 60 % liegt. Daraus ergibt sich, daß teilweise eine wesentliche Gewichtsreduzierung des Schleifschlammes durch entsprechende Entwässerungs-/Entölungsverfahren möglich ist.

Schleifschlämme enthalten neben dem bearbeiteten Metall vor allem Bearbeitungsflüssigkeiten (Öle, Emulsionen), Schleifscheibenabrieb und teilweise Filterhilfsmittel (wie Vliesmatten, Vliessäcke). Unter anderem erschwert bzw. verhindert der hohe Gehalt an Ölen/Emulsionen (organische Stoffe) heute noch die Möglichkeit, den Schleifschlamm direkt stofflich zu verwerten, also in der Stahlerzeugung wieder zu verwenden. Eine Ablagerung auf Sonderabfalldeponien ist auch nur begrenzt möglich, sodaß bei Überschreiten der entsprechenden Grenzwerte der Schleifschlamm in einer Sonderabfallverbrennungsanlage entsorgt werden muß bzw. derzeit noch als Ersatzbrennstoff (EBS) nach entsprechender Vorbehandlung durch Entsorgungsunternehmen in der Zementindustrie in Belgien eingesetzt wird.

Die reine Entsorgung als Beseitigung von ölhaltigen und mit Filterhilfsmitteln durchsetzten Schleifschlämmen erzeugt Kosten in Höhe von ca. 700 - 1.000 DM/to. Da der Eisengehalt im allgemeinen recht hoch ist (> 60 %), sollten Schleifschlämme nach einer entsprechenden

Vorbehandlung (dezentral vor Ort im Betrieb bzw. zentral in einer Großanlage) einer stofflichen Verwertung in Stahlwerken oder Gießereien zugeführt werden. Dabei erscheint vor allem eine Verringerung des Ölgehaltes, der bis zu 50 - 60 % des Gesamtgewichtes des Schleifschlammes ausmachen kann, als notwendig.

Vorbehandlungsmethoden

In Abbildung 1 (siehe Anhang) sind mögliche Verfahren zur Entölung von Schleifschlämmen als Übersicht dargestellt. Chemisch / Physikalische Verfahren (Auswaschen, Vakuumverdampfen) sowie Thermische Verfahren (Verbrennen, Pyrolisieren) kommen aus unterschiedlichen Gesichtspunkten, vor allem aber wegen den hohen Investitions- und Betriebs--kosten, für ein mittelständisches Unternehmen als innerbetriebliche Vorbehandlungsmaßnahme kaum in Frage. Dies sind vor allem Verfahren für eine großtechnische, zentrale Schleifschlammbehandlung.

Gesetzliche Anforderungen

Im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) spricht man nur noch von

- **Abfällen zur Verwertung**

  und

- **Abfällen zur Beseitigung**

Als **Grundsatzanforderung** stellt das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) prinzipiell die

- **Vermeidung**
- **Verminderung**
- **Verwertung**

von Abfällen in den Vordergrund. **Nicht vermeidbare Produktionsabfälle sind sofern technisch wie wirtschaftlich möglich zu verwerten**. Das KrW-/AbfG hat gleichzeitig die Förderung der Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen und die Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen zum Ziel. Darüber hinaus nimmt das neue KrW-/AbfG Bezug auf die Qualität der Verwertung.

In § 5 des KrW-/AbfG heißt es konkret.

- **Eine der Art und Beschaffenheit des Abfalls entsprechende hochwertige Verwertung ist anzustreben.**

Ab 1999 hat der Abfallerzeuger im Rahmen des zu erstellenden Abfallwirtschaftskonzeptes seines Unternehmens die Entsorgungssicherheit, die Abfallvermeidung und die Verwertbarkeit der Abfälle zur Beseitigung oder zur Verwertung zu prüfen und auf 5 Jahre im voraus plausibel zu erläutern sowie auf Verlangen gegenüber der Behörde vorzulegen.

Innerbetriebliche Vorbehandlungsmethoden

Aus Abbildung 1 geht hervor, daß für die innerbetriebliche Vorbehandlung von Schleif--schlämmen das **„Mechanische Verfahren"** für viele Unternehmen das wohl am meisten praktikable bzw. einsetzbare Verfahren ist. Das Mechanische Verfahren berücksichtigt das **„Auspressen"** mit Hilfe von pneumatischen bzw. hydraulischen Pressen sowie das **„Zentrifugieren, Ausschleudern"** der Öle, Emulsionen mit Hilfe von Zentrifugen.

Beide Methoden stellen einen großen Beitrag zur Verminderung der zu entsorgenden Schleif-schlammmenge dar bzw. ermöglichen vielfach die stoffliche Verwertung von Schleif-schlämmen. Der innerbetrieblichen Vorbehandlungsmethode liegt als Basis die Erfüllung ge-setzlicher Vorgaben sowie ein geringer Investitionsaufwand bzw. hohe Anlagenrentabilität zugrunde.

Hydraulische oder pneumatische Pressen als innerbetriebliche Vor-behandlungsmethode

Erste Versuche mit öl- und emulsionshaltigem Schleifschlamm ohne Filterhilfsmittel mit Pack- und Korbpressen und einem Preßdruck von ca. 120 N/cm² führten zu den Ergebnissen auf Abbildung 2, 3 und 4 (siehe Anhang).

Pneumatische Presse der Firma GETRAG / Werk Rosenberg

Aufgrund der guten Ergebnisse der Vorversuche wurde im Werk GETRAG/Rosenberg eine eigene pneumatische Schleifschlammentölungspresse gebaut, siehe Abbildung 5, 6 und 7.
Die Anforderungen waren:

- geringer Invest,
- mobile Anlage
- keine Bindung zusätzlichen Personals
- Wiederverwendung des gewonnen Kühlschmierstoffs (Öl)

Die in den Abbildungen 5 - 7 gezeigte pneumatische Presse hat einen Druckluftanschlußwert von 6 bar. Die Presse ist mobil und wird von Bearbeitungscenter zu Bearbeitungscenter (z.B. RZP Reisauer-Zahnflankenschleifen) bei Bedarf von Hand von den jeweiligen Mitarbeitern befördert.

In Abbildung 8 (siehe Anhang) ist das durchschnittliche Preßergebnis des ölhaltigen Schleifschlammes ohne Filterhilfsmittel aufgezeigt.
Abbildung 9 (siehe Anhang) zeigt die Vorteile dieser innerbetrieblichen Schleifschlamm-vorbehandlungsmethode.
In Abbildung 9-1 (siehe Anhang) sind die Voraussetzungen für den Einsatz einer Presse zur Entölung von Schleifschlämmen aufgeführt.
Abbildung 10 (siehe Anhang) zeigt ein Flußdiagramm über anwendungstechnische Verfahren zur Entölung von Schleifschlämmen.
Abbildung 11(siehe Anhang) zeigt ein Flußdiagramm zum Thema Kostenübersicht Schleifschlammentölung.

Abbildung 5: Schleifschlammpresse Firma GETRAG

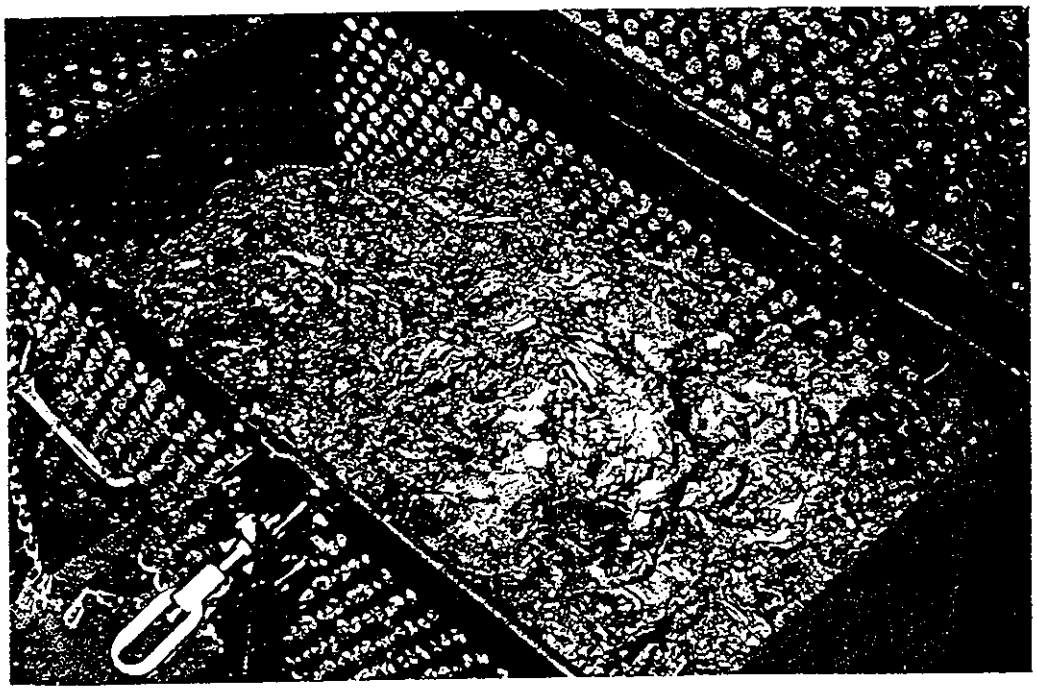


Abbildung 6: Schleifschlammpressse Firma GETRAG

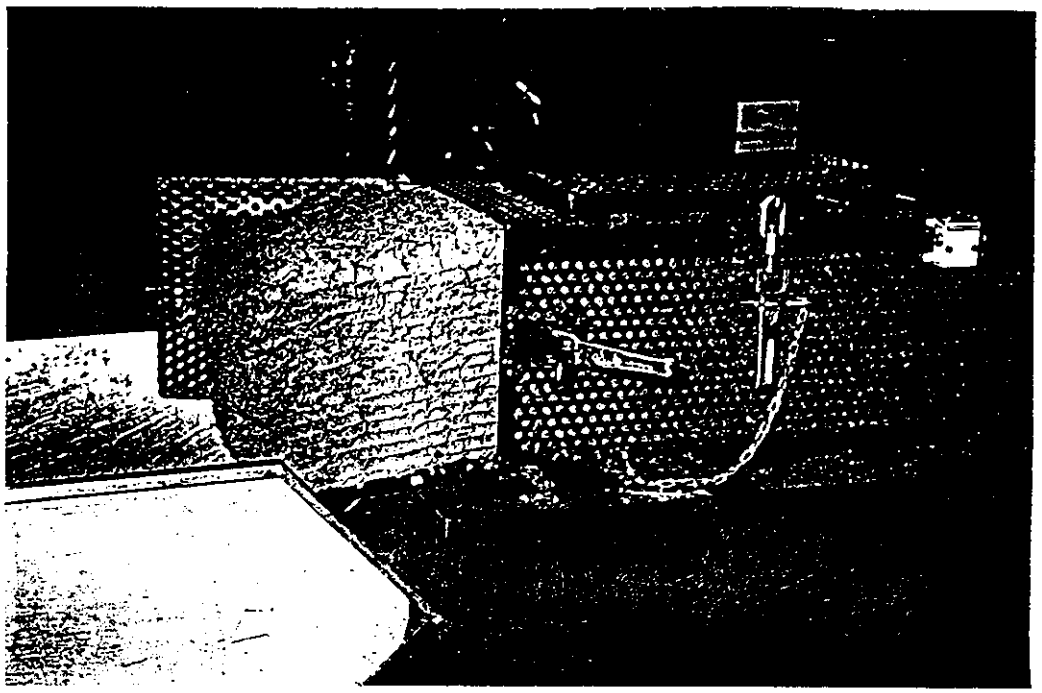


Abbildung 7: Schleifschlammpresse Firma GETRAG

Auspressen von hochölhaltigen Schleifschlämmen mit Ölrückgewinnung

Nachfolgend ist beispielhaft ein Kostenvergleich mit vereinfachter Amortisationsberechnung für das Auspressen von ölhaltigen Schleifschlämmen mit Ölrückgewinnung dargestellt.

Beispielhafter Kostenvergleich

Annahmen: Schleifschlamm aus Bearbeitung mit nichtwassermischbaren Kühlschmierstoffen (KSS-Ölen)

Ölgehalt: ca. 50 %

Anfall: ca. 10 t/a frei von Filtervliesen

1. Direkte Entsorgung

Kosten ca. 700 DM/t

(inkl. Container, Transport)

Gesamtkosten: 10 x 700 DM = **7.000 DM/a**

2. Entsorgung nach Vorentölung

Vorentölung durch Auspressen: erzielbarer Restölgehalt ca. 50 % des Ausgangsölgehalts:

Ausgepreßtes KSS-Öl ca. 250 l/t Schleifschlamm

Investitionskosten einer Presse ca. 12.000 DM

10 x 250 l = 2.500 l x 2 DM/l ⇨	**Erlös**	5.000 DM/a
zu entsorgender Schleifschlamm 7,5 to x 700 DM/to ⇨	**Kosten**	5.250 DM/a
	Resultierende Kosten:	250 DM/a

⇨ **Einsparung 6.750 DM/a**

⇨ **Amortisationszeit einer Presse: 1,8 Jahre**

3. Vollständige Entölung (ohne Möglichkeit der Ölrückgewinnung) und Verwertung (Verhüttung)

Entölung	310 DM/t				
Verhüttung	170 DM/t				
Transport	70 DM/t				
Gesamtkosten:	**550 DM/t**	**x**	10 t/a	⇨	**5.500 DM/a**

4. Vorentölung durch Auspressen mit anschließender vollständiger Entölung und Verwertung (wie 3).

Ausgepreßter KSS-Öl 250 l/t

10 x 250 l = 2.500 l/a x 2 DM/l ⇨ Erlös 5.000 DM/a

Entölung und Verwertung (wie 3).

7,5 t x 550 DM Kosten 4.125 DM/a

Gewinn 875 DM/a

⇨ **Einsparung gegenüber Entsorgung 7.875 DM/a**

⇨ **Amortisationszeit einer Presse: 1,5 Jahre.**

Innerbetriebliche Vorgehensweise und Logistik

Damit Schleifschlämme innerbetrieblich bzw. zentral behandelt (entölt) werden können, ist eine innerbetriebliche Entsorgungslogistik notwendig, welche folgende Kriterien enthalten sollte:

- ⇨ **getrennte Erfassung von unterschiedlichen Schleifschlammarten**
  Guß-/ Stahlspäne (eventuell nach niedrig- und hochlegiert getrennt (Qualitäten)
- ⇨ **möglichst frei von Filterhilfsmitteln (z.B. Einsatz von Druckbandfilter, Endlos-bandfilter**
- ⇨ **getrennte innerbetriebliche Vorbehandlung von emulsionshaltigen und ölhaltigen Schleifschlamm (Entölung)**
- ⇨ **Rückführung von abgeschiedenen Kühlschmierstoffen (Ölen)**
- ⇨ **getrennte Bereitstellung von emulsionshaltigen und ölhaltigen Schleifschlämmen zur Entsorgung**
- ⇨ **Beachtung der Verwerter - Annahmekriterien**

Unter den oben aufgeführten Gesichtspunkten ist es heute möglich, den Produktionsabfall Schleifschlamm unter Beachtung von Ökologie und Ökonomie sowie gesetzlichen Anforderungen einer stofflichen Verwertung zuzuführen.

Bei der Rückführung von Kühlschmierstoffen (Ölen) in den Fertigungsprozess ist darauf zu achten, daß keine längeren Verweilzeiten der Öle in der Presse oder der Schleifschlamm längere Zeit unbehandelt gelagert wird.

Folgende Verwerter- und Annahmekriterien seitens der Verwerter sollten von den Abfallerzeugern erfüllt werden damit eine stoffliche Verwertung möglich wird:

- ⇨ **stoffhomogener Schleifschlamm (Trennung nach Öl und Emulsion bzw. Legierung, homoger Zusammensetzung bekannter Herkunft)**
- ⇨ **hoher Metallanteil**
- ⇨ **frei von Massivteilen**
- ⇨ **möglichst ohne Filterhilfsmittel**
- ⇨ **unterschiedliche Chargengröße möglich**
- ⇨ **frei von Störelementen wie z.B. Cl. Cd, Pb**

Anlage

Entölung von Schleifschlämmen

Mechanisch

- Pressen
- Zentrifugieren

Chemisch / Physikalisch

- Auswaschen
- Ausdampfen

Thermisch

- Verbrennen
- Pyrolisieren

Abbildung 1: Verfahren zur Entölung von Schleifschlämmen

Preßversuch mit öl- und emulsionshaltigem Schleifschlamm

Restölgehalt:

1. Preßversuch bei 120 N/cm^2 (Packpresse)

ölhaltiger Schleifschlamm/ohne Filterhilfsmittel

Füllgewicht Presse 39,1 kg (100%)

aus- → 20,6 kg Filterkuchen (53%)

pressen → 18,5 kg Öl (47%)

Restölgehalt des Filterkuchens ca. 25%
(= 250.000 mg/kg)

Abbildung 2: Packpresse

2. Preßversuch bei 120 N/cm^2 (Korbpresse)
   Füllvolumen ca. 300 l, Maschenweite 3 mm

<u>ölhaltiger Schleifschlamm</u>

Füllgewicht Presse 208,5 kg (100%)

aus- → 110 kg Filterkuchen (53%)

pressen → 98,1 kg Öl (47%)

Restölgehalt des Filterkuchens ca. 25%
(= 250.000 mg/kg)

Abbildung 3: Preßversuch Korbpresse

3. Preßversuch bei 120 N/cm^2 (Packpresse)

<u>emulsionshaltiger Schleifschlamm/ohne Filterhilfsmittel</u>

Füllgewicht Presse 36,3 kg (100%)

aus- → 21 kg Filterkuchen (58%)

pressen → 15,3 kg Emulsion (42%)

Restölgehalt des Filterkuchens ca. 7,8%
(= 78.000 mg/kg)

Abbildung 4: Preßversuch Packpresse

Preßergebnis / Pneumatische Presse
Fa. GETRAG

Restölgehalt:

Preßergebnis bei 6 bar Druckluftanschluß;
ölhaltiger Schleifschlamm aus Bearbeitungsgang
Reisauer-Zahnflankenschleifen (RZP)

Füllgewicht Presse 65 kg (100%)

aus- → 34 kg Filterkuchen (52%)

pressen → 31 kg Öl (48%)

Restölgehalt des Filterkuchens ca. 22%
(= 220.000 mg/kg)

Ausgangsölgehalt des Schlammes ca. 60%

Abbildung 8: Preßergebnis/Pneumatische Presse GETRAG

Vorteile der Presse als innerbetriebliche Vorbehandlungsmethode von Schleifschlämmen

- Variable innerbetriebliche Abfallvorbehandlung möglich
- Ausgepreßtes Öl ist nach Prüfung vorraussichtlich wieder einsetzbar
- Presse individuell Auslegbar
- Günstige Anlagenkosten
- Einfache Technik
- Starke Reduzierung der Sonderabfallmenge und der Entsorgungskosten

Abbildung 9: Vorteile Presse

Voraussetzungen für den Einsatz einer Presse zur innerbetrieblichen Entölung von Schleifschlämmen

- möglichst kein Filtervlies
- Ölgehalt > 20 - 25 %
- Ölsortenbereinigung
- Trennung unterschiedlicher Schleifschlämme

Abbildung 9 - 1 Voraussetzungen für den Einsatz einer Presse

Anwendungstechnische Verfahren zur Entölung von Schleifschlämmen

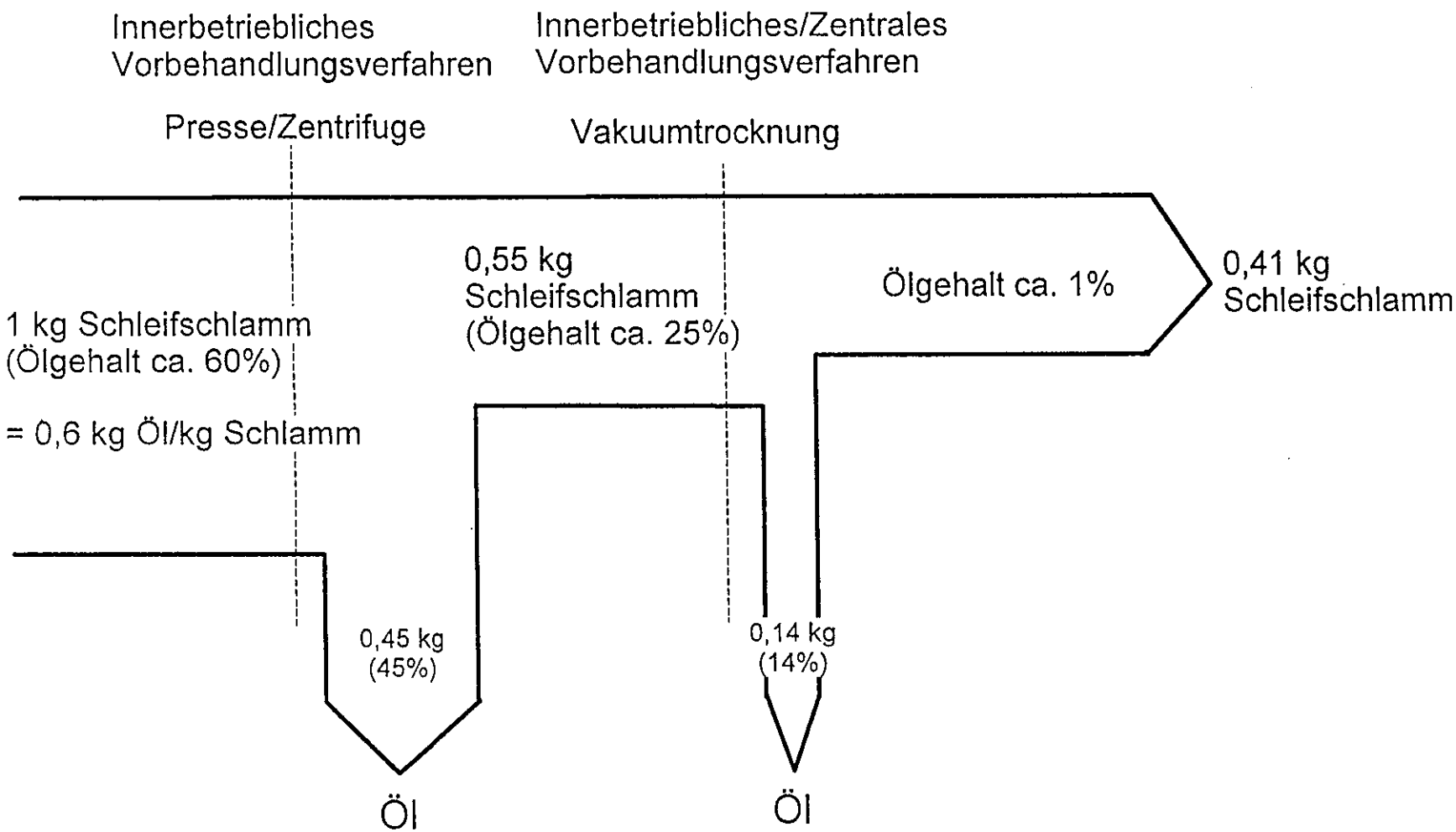
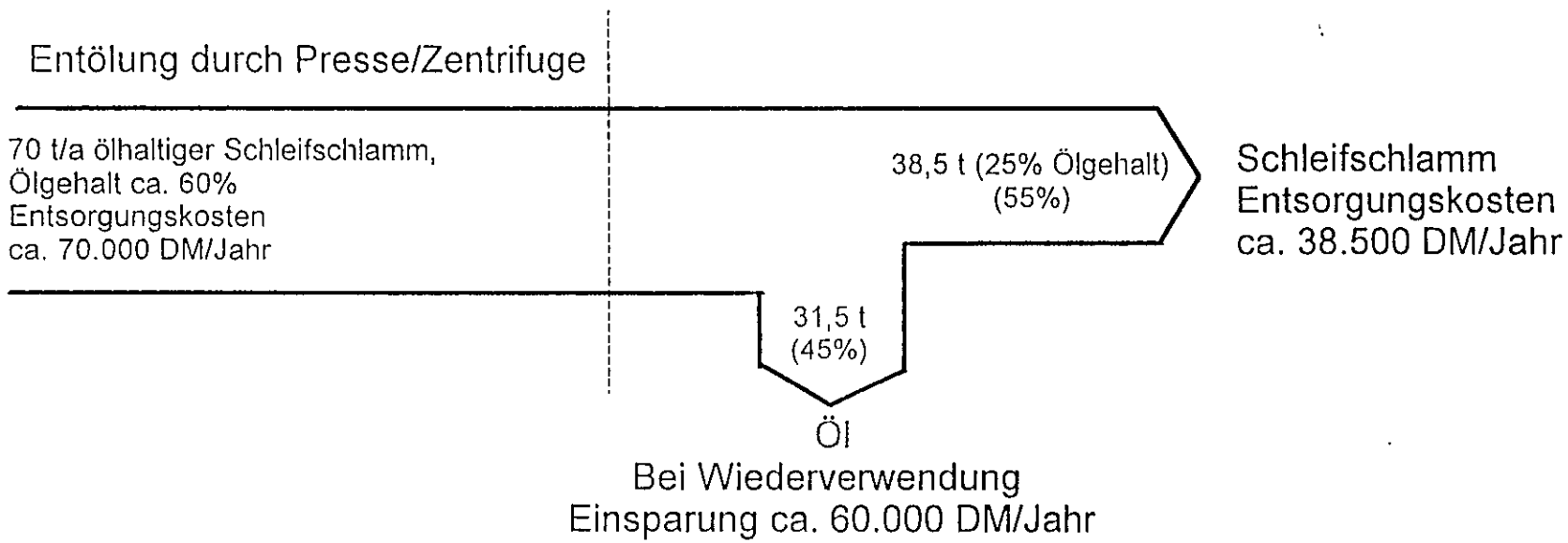


Abbildung 10: Flußdiagramm Schleifschlammentölung

Kostenübersicht Schleifschlammentölung am Beispiel des Zahnradwerks Neuenstein (ZWN)

- Invest pneumatische bzw. hydraulische Presse ca. 10.000-30.000 DM
- Invest Zentrifuge Chargen/Durchlaufanalyse ca. 35.000-80.000 DM



Einsparpotential gesamt

Reduzierung Entsorgungskosten	31.500 DM
Einsparung Einkauf Frischöl	60.000 DM
Summe	**91.500 DM**

Abbildung 11: Flußdiagramm Kostenübersicht

Ölhaltige Schleifschlämme
Externe Behandlungs- und Verwertungsmöglichkeiten

Claus Bohling, RES Oesterreich GmbH & Co. KG, Geesthacht

Grenzen der internen Behandlung aus wirtschaftlich, technischer Sicht

+ Aggregatgröße von Behandlungsanlagen (Pressen, Zentrifugen)

- kurze Amortisationszeiten i.d.R. nur bei hoher Auslastung
- hohe Effizienz nur bei hoher Tonnage (d.h. für Großbetriebe)

+ Aufwand interner Maßnahmen

- Personal
- Wartung
- Betriebsmittel
- Pufferkapazität bei Stillstand
- technische Peripherie
  - * VAWS (Emulsion)
  - * Löschwasserrückhaltung (Öltanks)
- Genehmigungserfordernis

+ Nutzen interner Maßnahmen Chancen und Risiken

- KSS - Rückgewinnung
  - * Partikelbelastung
  - * Additivlage
  - * Viskositätslage (Hydraulikölein brüche)
  - * analytischer Kontrollaufwand
- Verbleib des Feststoffs
  - * Restölgehalte <u>stets</u> oberhalb Stahlwerksanforderungen d.h. Entsorgung

Forderungen an externe Behandlung

+ formal

- Verwertung vor Beseitigung
- inländische vor ausländischer Behandlung
- BImSchG-Genehmigung

  * auch bei reinem Zwischenlager (Schrotthändler)

- Begleitpapiere

  * vor Entsorgung => EVN
  * bei jeder Abgabe => Übernahmeschein
  * ohne diese Unterlagen ist die Erfüllung der Anforderungen aus:

    - EG - Öko-Audit
    - DIN-ISO 9000 ff
    - DIN-ISO 14000 ff
    - Abfallbilanz und Konzept

  nicht möglich -> Organisationsverschulden

- Entsorgungssicherheit

+ technisch

- Besuch der Behandlungsanlage notwendig (Auditierung)
- bei Zwischenlager auch Endbehandlungsanlage prüfen
- Rückstellmuster bei Streitigkeiten
- Kontrollparameter

  * zulässige max. Ölgehalte
  * Legierungsgrenzen (Konditionieranlagen)

- Kontrolle des erzeugten Produkts
    - * Vergleich mit BImSchG-Genehmigung
    - * Produkt / Abfall
    - * Ölgehalt
- Ende der Verantwortlichkeit des Abfallerzeugers
    - * in der Endbehandlungsanlage => Stahlwerk
    - * bei Wechsel von Abfall zu Produkt
- kaufmännisch
    - * kostengünstig
    - * transparent

großtechnisch verfügbare Verfahren

- Konditionierung
  - * Anforderungen an die Schleifschlämme
    - Energiegehalt
    - Verfestigung EBS / Bergversatz
  - * Kosten für Annahmeprüfung
  - * Entsorgungssicherheit
- Brikettierung
  - * Vermischung / Verdünnung
  - * Annahmegrenzen und Verantwortung des Betreibers (Öl- und Legierungsbegrenzungen)
  - * Sicherheit der Verwertung der Briketts
  - * logistischer Aufwand zur Beschaffung der Späne
  - * sortenreines Brikettieren
    - Guß
    - Stahl
    - Edelstahl
    - HSS
- **Vakuumentölung**
  - * Ölrückgewinnung
  - * Sortenreinheit des Metallpulvers und Verwertung
  - * Brandeigenschaft des entölten Pulvers
  - * Annahmekriterien

Schwerpunkt: Sintern

- Erzeugung eines Eisenerzersatzstoffes
- Gewinnung von wiederaufbereitbarem Öl
- echte Schadstoffsenke für Kohlenwasserstoffe
- technisch unempfindlich gegen Störstoffe
  - Filtertücher
  - Filterhilfsmittel
  - Ölgehalte 0 .... 50 %
  - oxidisches Material (Zunder, Stäube)
  - Aufbau eines Schiffslogistiksystems
  - Verwertungssicherheit auch bei Revisionsarbeiten

Schwerpunkt: CO_2-Extraktion

- Verfahrensbeschreibung
  - * Hochdruckextraktion 300 x- 500 bar, 50 - 80° C
  - * Entwicklung in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie
  - * Batchbetrieb in Autoklaven
  - * Öl- und Staubreinheit gewährleistet
  - * CO_2 in überkritischem Zustand als Lösemittel
  - * keine chemisch/physikalische Veränderung der Einsatzstoffe (Öl)

- Durchführung eines großtechnischen Versuchs (ca. 300 t) in Lohnextraktionsanlage im August 1999
  - * Prozeß unempfindlich gegen wechselnde Ölgehalte
  - * hohe Ölreinheit des zurückbleibenden Metallpulvers
  - * Öl zum unmittelbaren Wiedereinsatz in die Schleifmaschine geeignet
    - - Partikelbelastung deutlich geringer als Anforderung des Öllieferanten
    - - Additivlage gegenüber Kreislauföl (in der Schleifmaschine) unverändert
    - - thermisch unbelastet => kein Geruch
  - * metallurgische Verwertung des Staubes sichergestellt
    - - Brandvermeidungsstrategie bei bestimmten Staubsorten

- Annahmekriterien für CO2-Extraktion
  - * Anlieferung in dicht verschlossenen Behältern
    - - Wassereinbruch vermeiden
  - * in jedem Fall sortenreine Trennung nach Einsatzölen
  - * möglichst getrennte Anlieferung nach Werkstoffgruppen (Stahl, Guß, Edelstahl, HSS)
  - * Anlieferung mit/ohne Filtertüchern
  - * Chargengröße mind. 20 t
  - * Ölrücklieferung in IBC (800 - 1000 l Gitterboxentank)

- Anlagenbeschreibung
  - * 3 x 6 m^3 Druckbehälter
  - * Annahme von Material ab ca. 2.Quartal 2000
  - * Gewährleistung der Rücklieferung des extrahierten Öls (Ausbeute: mind. 95 %)
  - * Qualitätsanforderungen des Öllieferanten werden erfüllt; Nachadditivierung erforderlich

- Leistungsangebot
  - * Lohnentölung, Rückgabe Öl, Rückgabe Staub
  - * Verwertung Staub, wenn gewünscht
  - * TFM: Total Fluid Management
    - - in Kooperation mit den Öllieferanten Ver- und Entsorgung der Schleifmaschine als ein Paket

Lackieren von Metallteilen

Beschichtungsprozesse, VOC- und Abfallreduzierung, manuelle und automatische Lackierung von FE- und NE-Metall-Teilen

Thomas Grupp, ABAG-itm GmbH, Fellbach-Schmiden

LACKIEREN VON METALLTEILEN

von Dipl.-Ing. T. Grupp

Nichts ist so beständig wie der Wechsel, dies gilt auch für die Lackiertechnik. Denn mit neuen Anlagen- und Verfahrenskonzepten bei der industriellen Lackierung, gepaart mit modernen Lackmaterialien sowie Informations- und Kommunikations(IK)-Technologien wird es künftig möglich sein, Lackierprozesse bei der Metall- und Kunststoffteilelackierung noch rationeller und flexibler auf hohem Qualitäts- und Umweltniveau zu realisieren und auch sicherer beherrschen zu können.

Ausgangslage

Die qualitativen Anforderungen an Metall- und Kunststoffteile werden bei vielen Werkstoffsorten in ihrer Gesamtheit nur durch zusätzliche Beschichtungen erfüllt. Besonders bei hochbeanspruchten Produkten und Bauteilen, wie z.B. Kfz-Anbauteile, Maschinenteile, Möbel, Gebrauchsgegenstände, Anlagen- und Geräteteile etc., werden ausreichende Beständigkeit, Dekorativität und Funktionalität erst durch eine werkstoffspezifische Lackierung erreicht. In der Praxis zeichnet sich die Lackierung von Metall- und Kunststoffteilen bei der allgemeinen Industrie und der Automobilzuliefererindustrie durch eine sehr hohe Verfahrensvielfalt aus. Bei Neuplanungen und bei der Optimierung bestehender Lackierprozesse können mittlerweile - je nach Anforderungsprofil und betrieblichen Gegebenheiten - aus einem relativ großen "Technikpool" anwendungsspezifisch die notwendigen Prozessschritte und Verfahrenstechniken projektiert werden.

In metallbe- und -verarbeiteten Betrieben werden die Produkte und einzelnen Bauteile aus einer Vielzahl unterschiedlicher Werkstoffe hergestellt. Die einzelnen Werkstücke bzw. Komponenten der Produkte müssen häufig zum Korrosionsschutz und wegen optischen Gründen beschichtet werden. Der Beschichtung mit organischen Überzügen, d.h. die Lackierung mit Flüssig- oder Pulverlackmaterial, kommt wegen ihrer Flexibilität im Produktionsfluss und breiten Anwendungsmöglichkeiten zur Beschichtung von Klein- bis Großteilen eine wichtige Bedeutung zu. Das zur Anwendung kommende Lackmaterial und der Beschichtungsaufbau sind wesentlich von den qualitativen Anforderungen an die Lackierung, wie z.B. Verlauf, Glanz, Schichtdicke, UV-Beständigkeit, Elastizität, Härte, Chemikalienbeständigkeit u. dgl. abhängig. Das Lackmaterial muss ferner auf die Untergründe / Substrate und Beschaffenheit der Oberflächen der zu beschichtenden Werkstücke abgestimmt sein. Dazu kommt ferner die Berücksichtigung der Bedingungen, die an die Verarbeitbarkeit und an die Applikationstechnik (z.B. manuelles Spritzlackieren im Hochdruck- oder Niederdruckverfahren, elektrostatikunterstützte Zerstäubung etc) gestellt werden (z.B. Viskosität, Scherstabitität, Vorreaktionszeit bei Mehrkomponentenlacken, Lackfilmtrocknungszeit u.dgl.).

Stahl	Verschiedene Sorten, oft Baustahl, Stahlblech und Walzstahl
Aluminium	Verschiedene Legierungen und unterschiedliche Härte
Zink	Sendzimier-, feuerverzinktes und galvanisch verzinktes Stahlblech
Edelstahl	V2A, V4A und andere
Guss	Verschiedene Gussteile mit unterschiedlicher Zusammensetzung, z.B. Grauguss, Stahlguss, Zinkdruckguss etc.
Kunststoffe	Diverse Arten, überwiegend Thermoplaste, tw. Duroplaste, tw. Schaumstoffe
Holz	Der Anteil dieser Untergründe ist eher selten
Vorbeschichtete Untergründe	Coil-Coating- und KTL-beschichtete Bleche, ETL-Teile, Altlackierungen

Tabelle 1: Beispiele der zu beschichtenden Untergründe / Werkstoffe in metallbe- und –verarbeitenden Betrieben

In der metallbe- und –verarbeitenden Industrie stellen auch Thermoplaste und Duroplaste zunehmend interessante Werkstoffalternativen dar, weil sie in großer Formvielfalt in Serie herstellbar sind, echte Alternativen zur Gewichtsreduzierung der Produkte oder Bauteile darstellen und die Herstellung neuer Produkte ermöglichen. Im Maschinen- und Anlagenbau sowie in der Fahrzeugindustrie ist daher in den letzten Jahren eine Zunahme der unterschiedlichen Substratwerkstoffe in den Produkten (z.B. Stahlblech, verzinkte Blechmaterialien, Aluminiumteile, (Zinkdruck- und andere) Gussteile, Stahl-Schweißkonstruktionen, Kunststoffteile auf der Basis von ABS, PBT, PE, PP-EPDM, PC, SMC, PA, PPE/PA etc.) zu verzeichnen. In der Europäischen Union wurden 1997 etwa 26 Mio Tonnen Kunststoffe verbraucht, weltweit ca. 105 Mio Tonnen. In Deutschland wurden 1998 etwa 9 Millionen technischer Thermoplaste produziert. Alleine ein Drittel davon wurde in der Automobilproduktion verarbeitet und wiederum ein Drittel davon, d.h. gerundet ca. 1 Mio Tonnen, wurden für Produkte der Automobilbranche lackiert. Die Kunststoffteilelackierung ist im allgemeinen von der Spritzlackierung und der Verarbeitung von 2K- und 1K-PUR (ca. 75%), wässrigen Lackmaterialien (ca. 5 %) und 1K Acryl-Melamin-Lackmaterial (ca. 20%) geprägt. Für Lackieranwendungen bei vergleichsweise hohen Trocknungs-/Vernetzungstemperaturen von ca. 180°C wurden mittlerweile verschiedene Substrate aus SMC, PA/PPO oder PUR-PRIM getestet, welche diese Lackieranforderungen prinzipiell erfüllen.

Umweltauswirkungen

Der Lackierprozess ist jeweils auf die zu lackierenden Produkte und den Fertigungsablauf abgestimmt. Bei den verschiedenen Arbeitsschritten werden Einsatz- und Hilfsstoffe benötigt und es entstehen –neben dem Produkt oder Arbeitsergebnis- zwangsweise verfahrensspezifische Materialverluste, die für die Umwelt und die Mitarbeiter belastend sind. Maßgeblich für die Umweltverträglichkeit eines Lackierverfahrens sind im wesentlichen folgende Aspekte:

- Art der Vorbehandlung/Vorbereitung der zu lackierenden Werkstücke (z.B. Entfetten, Reinigen, Phosphatieren, Spachteln, Schleifen),
- Art des Lackmaterials (z.B. Lösemittellack, Wasserlack, 2K-Lack, Pulverlack),
- Lack-Auftragswirkungsgrad (kann je nach Applikationssystem und Bauteilgeometrie zwischen 30 bis über 90% liegen, der Rest geht als Overspray (fehlverspritzter-/versprühter Lacknebel verloren),

- Lackierspektrum, d.h.Variantenvielfalt von Bauteilen (große Flächen oder filigrane Bauteile) und Farbspektrum (Häufigkeit der erforderlichen Farbwechsel),
- Art der Lackfilmtrocknung und –vernetzung sowie der Abgasreinigung.

Die folgenden Übersichten zeigen beispielhaft Umweltauswirkungen aus der Vorbehandlung und aus der Spritzlackierung:

Vorbehandlung und Vorbereitung	**Auswirkungen auf die Umwelt**		
	Abfall, z.B.	Abgas, z.B.	Abwasser, z.B.
Entfetten	Altöl; Emulsion	Lösemittelverluste	Spülabwasser aus wässriger Entfettung
Beizen	Altbeize	-	Spülabwasser aus wässriger Beize
Phosphatieren	Phosphatierschlamm	-	Spülabwasser aus wässriger Phosphatierung
Passivieren	Chrom-/ chromathaltigerhaltiger Schlamm	-	Spülabwasser aus wässriger Chromatierung / passivierendem Nachspülen
Reinigen	Waschbenzin; Schmutzverdünner	Lösemittelverluste	aus wässriger Reinigung
Schleifen	Spachtelreste; Schleifstaub; Schleifschlamm; Sedimentationsschlamm	Staubemission	Abwasser / Spülabwasser aus Nassschliff
Strahlen	Strahlmittel	Strahlstaub	-

Tabelle 2: Umweltauswirkungen aus der Vorbehandlung

Lackieren: Spritzlackieren	**Auswirkungen auf die Umwelt**		
	Abfall, z.B.	Abgas, z.B.	Abwasser, z.B.
Grundmaterialauftrag, z.B. - Primer, Schweißprimer und Füller - Grundierfüller sowie Abdunsten / Trocknen / Vernetzen	beladene Filtermatten; Lackschlamm; Lackreste	Abluftstrom aus Lackauftrag und Filmbildung; Lackpartikel	Erschöpftes Kabinenauswaschwasser
Füllerschleifen oder Anschleifen von Altlackierungen	Schleifstaub; Schlämme; Schleifpapier	-	Nassschleifabwasser
Decklackauftrag, z. B. als - Uni/Metallic (1-Schichtaufbau) - Uni/Metallic/Perl (2-Schichtaufbau) - Effekt-3-Schichtaufbau sowie Abdunsten / Trocknen / Lackfilmvernetzung	beladene Filtermatten; Lackschlamm; Lackreste	lösemittelhaltiger Abluftstrom aus Lackauftrag und Filmbildung; Lackpartikel	Erschöpftes Kabinenauswaschwasser
Gerätereinigung	Schmutzverdünner; Lackschlamm	Verdünnerverluste, diffuse Emissionen	Verschmutztes Spüllösemittel bei Wasserlack-Verarbeitung

Tabelle 3: Umweltauswirkungen aus der Spritzlackierung

Für die Metallteilelackierung stehen heute eine Vielzahl von Lackierverfahren zur Verfügung. Darunter befinden sich beispielsweise Lackierkonzepte auf der Basis folgender Verfahren, die effizient im Hinblick auf eine relativ hohe Lackmaterialausnutzung bei minimierten Umweltbelastungen arbeiten:

- KTL / ATL sowie die Anaphorese, ggf. mit anschließender Decklackierung mit Nasslack- und/oder Pulverlackmaterial,
- Walzen/Gießen mit VOC-armen Nasslackmaterialien,
- Pulverbeschichtung in Kombination mit internem Pulveroversprayrecycling,
- Oversprayarme Spritz-/Sprühlackierung mit Einbrennlacken, ofen-, forciert trocknenden-, lufttrocknenden oder strahlenhärtenden Lackmaterialien in Kombination mit internem Nasslackoverspray-Recycling.

Beim Spritzlackieren variiert der Lackverlust durch Overspray stark in Abhängigkeit von der Applikationsweise (manuell, automatisch), der Werkstückform und –Größe, den Applikationsparametern wie z.B. Abstand, Spritzstrahlform und der eingesetzten Spritzlackiertechnik selbst. Bild 1 zeigt die Bandbreite der Lackfestkörperverluste beim Spritzlackieren mit verschiedenen Applikationstechniken auf der Basis von Mess- und Erfahrungswerten und gibt einen Überblick der in der Praxis vorkommenden werkstück- und verfahrensbedingten Streubereiche der Einsatzstoff- und Kostenverluste durch Overspray. Steigender Kostendruck und Anforderungen an die Reduzierung von VOC-Emissionen werden auch künftig die treibenden Kräfte zur stetigen Optimierung der Lackierprozesse und Oversprayminimierung darstellen.

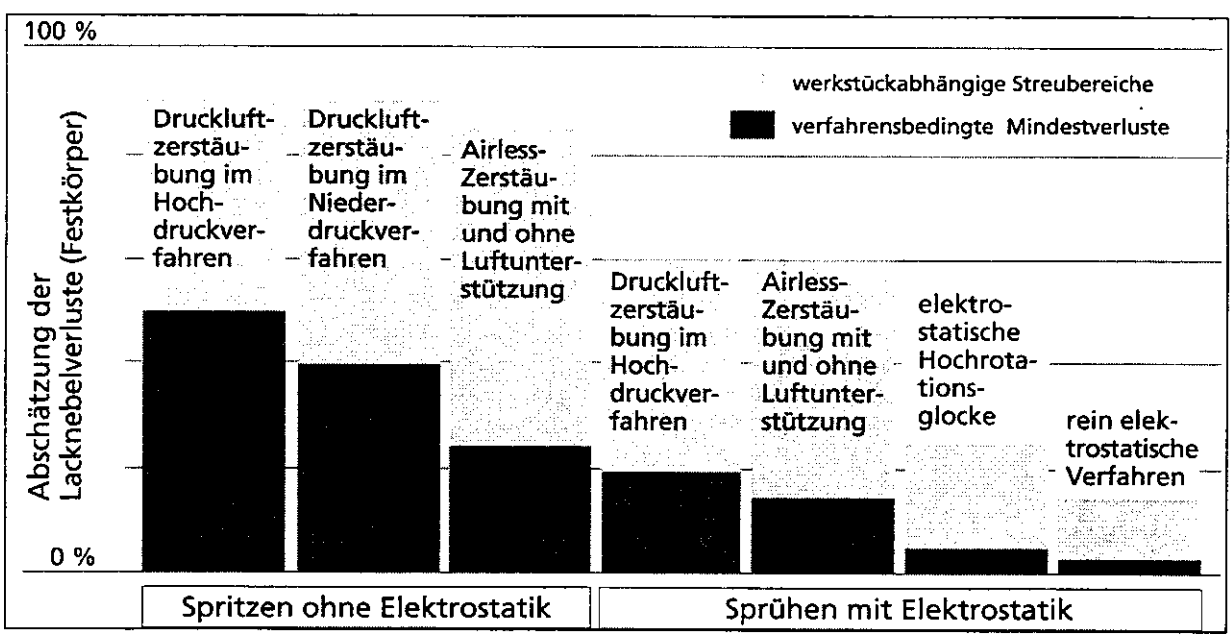


Bild 1: Bandbreite des Auftragswirkungsgrads beim Spritzlackieren (Quelle: Fraunhofer IPA)

Die Lackierung von Kunststoffteilen unterscheidet sich zum Teil systembedingt von der Lackierung von Metallteilen. Die Unterschiede sind durch die werkstoffspezifischen Kunststoffeigenschaften in Verbindung mit den anwendbaren Lacksystemen begründet, vor allem bzgl. folgender Aspekte:

- geringere Temperaturbeständigkeit der Kunststoffteile, d.h. der Einsatz von Einbrenn- und Pulverlacken ist nicht bzw. nur eingeschränkt bei wenigen Substraten möglich,
- Lackierung relativ komplexer Werkstückformen (z.B. Stoßfänger), d.h. die Applikationstechnik muss möglichst optimal an die Form angepasst werden,

- Lackierung elastischer Werkstücke, d.h. Vorbehandlung, Haftung, Elastizität und das Lackmaterial müssen aufeinander abgestimmt sein,
- Elektrische Nichtleiterfunktion der Kunststoff-Werkstücke, d.h. elektrostatikunterstützte Applikationstechniken zur Minimierung der Oversprayverluste können nur durch unterstützende, d.h. ergänzende Maßnahmen, zum Einsatz kommen.

Vor dem Hintergrund weiterentwickelter Methoden zur elektrostatikunterstützten Lackierung von elektrischen Lichtleitern (z.B. unter Zuhilfenahme leitfähiger Grundlackfilme, komplettem oder partiellem Vorspritzen) eröffnen sich für die Branche der Kunststofflackierung völlig neue Potenziale zur Nutzung ressourcenschonender und wirtschaftlicher Lackapplikationen auf hohem Qualitätsniveau, wie Praxisergebnisse bereits vereinzelt realisierter Anwendungen mit elektrostatischer Lackierung mit Pistolen und Hochrotationszerstäubern bei der Beschichtung von Kfz-Anbauteilen aus Kunststoffen zeigen.

Zentrale Frage und strategische Ansatzpunkte zur Kostenreduzierung

Der Lackierprozess ist in vielen Betrieben sehr kostenintensiv. In dieser Situation ist der Blick in alle Branchen zur Nutzung der dortigen Technologievorteile und Erfahrungen unumgänglich.
So wurden im Laufe der letzten Jahre z.B. in der Holzindustrie zahlenmäßig die meisten Nasslackoverspray-Recyclinganlagen in vielfältigen Modifikationen installiert. Ein anderes Beispiel ist die vor allem in der metallverarbeitenden Industrie verfolgte Strategie, den Lackierprozess nicht als letzter, sondern als ein Fertigungsschritt zu verstehen. Im Sinne der Fertigungsintegration ist hierbei das Ziel, bei jeder Anwendung den richtigen Beschichtungsstandort zu finden. Der Grundgedanke resultiert aus der Tatsache, dass die hohen Lackierkosten nicht nur in der Lackiererei verursacht werden, sondern auch häufig in anderen Bereichen begründet sind, z.B. durch nicht lackiergerechte Konstruktion, Rohteilefehler, Materialflusskosten.

Eine zentrale Aufgabe für diesen neuen Weg stellt die Reduzierung der Werkstückkomplexität beim Beschichten dar, da mit der Zunahme der Anforderungen die Fehlermöglichkeiten und die Kosten steigen. Weiterhin sinkt mit Zunahme der Werkstückkomplexität die Anwendbarkeit wirtschaftlicher Lackiertechniken, wie z.B. die Flachteilebeschichtung mit Automaten zur Lackierung von Coils u.dgl. mit hoher Flächenleistung, Gießen, Tauchen, Fluten oder Vakuumbeschichten. Ein für viele Anwendungen in der Metallindustrie denkbarer neuer Weg wird daher die Beschichtung von Platinen (ausgestanzte Bleche) mit anschließendem Umformprozess sein (Pre-Coating), wie erste Anwendungen im Bereich der Weißen Ware-Beschichtung zeigen.

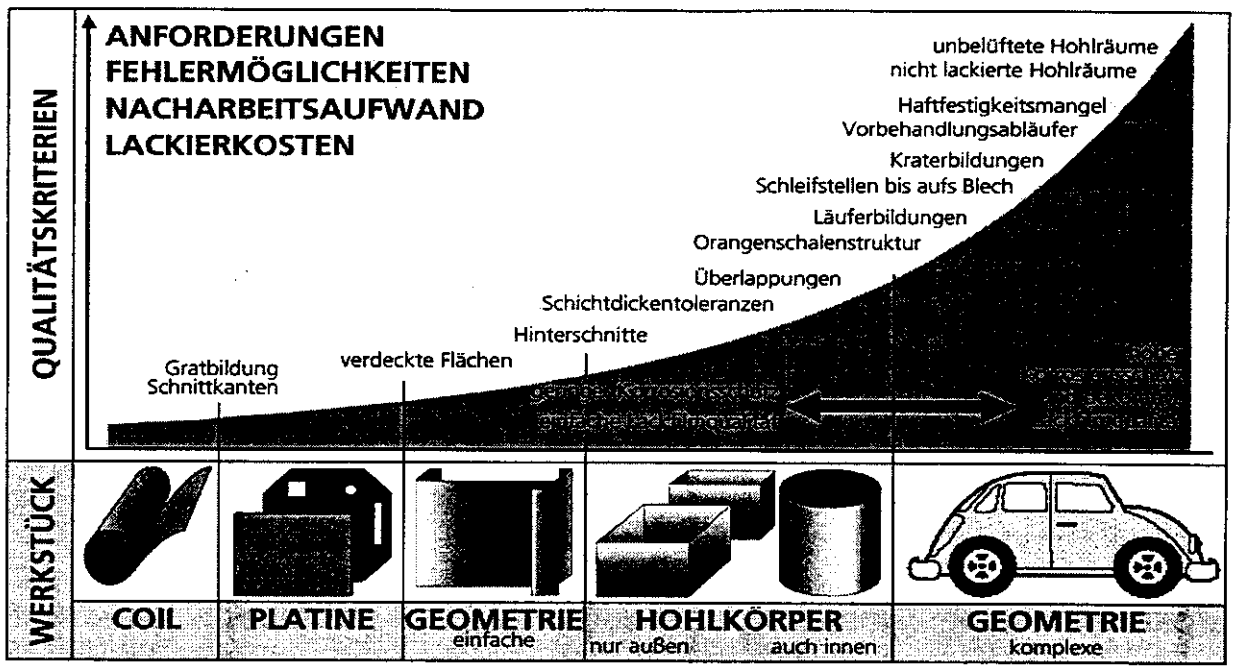


Bild 2: Qualitative Abhängigkeiten der Lackierprozesse von der Werkstückkomplexität (Quelle: Fraunhofer IPA)

Ein mögliches neues Fertigungskonzept für die kunststoffverarbeitende Industrie stellt die Verlagerung der Beschichtung in die Teileherstellung dar. Erprobungen zur Inmould-Beschichtung in der kunststoff- und holzverarbeitenden Industrie laufen bereits. Dies beinhaltet:

- Aufbringen/Einlegen der Beschichtungsstoffe auf das Werkzeug; Hinterspritzen oder -schäumen der Kunststoffmasse bzw. Verpressen mit Harzmatten;
- Teileherstellung nach dem Stand der Technik; Verpressen der Beschichtungsstoffe mit dem Bauteil in einem Werkzeug.

Hierbei erfolgt die Beschichtung der Teile mit Lacken, Kunststoffmonomeren, -schmelzen bzw. -folien.

Ein anderer strategischer Ansatz ist die Lackierung der Teile in kleinen Lackieranlagen anstelle einer zentralen Lackiererei. Zur Reduzierung des Logistikaufwandes wird die kleine Lackieranlage linienintegriert ausgeführt, d.h. jede Produktlinie ist eine Fertigungslinie und verfügt über eine kleine Beschichtungsanlage, die direkt am jeweiligen Standort der Produktlinie integriert ist. Das Problem bei diesem Konzept ist, dass Lackieranlagen komplexe luft- und fluidtechnische Anlagen sind, die sich nicht beliebig miniaturisieren lassen.

Beim Einsatz unterschiedlicher Substratwerkstoffe (z.B. Metall-Kunststoff) ist nach dem Stand der Technik durch die jeweiligen physikalischen Werkstoffmerkmale (z.B. Leitfähigkeit, Temperaturbeständigkeit) der Aufbau mehrerer Lackierlinien erforderlich. Zur Kostenreduzierung und somit zur Rationalisierung sollte zukünftig das Ziel verfolgt werden, möglichst alle Werkstücke unterschiedlicher Werkstoffe mit einer Anlage zu beschichten. Ein wichtiger Weg hierbei ist die Weiterentwicklung des Niedrigtemperaturprozesses für Nass- und Pulverlacke (Nasslackhärtung bei 80°C, Nasslack- und Pulverlackhärtung über UV-Strahlung oder Elektronenstrahlhärtung). Große Erfolge wurden bereits auch durch die Anpassung des Kunststoffwerkstoffes (z.B. PA/PPO anstelle von ABS) an vorhandene Anlagen zur Metallbeschichtung (z.B. Pulverlackierung) im Betrieb erreicht.

Bei all diesen Entwicklungsrichtungen müssen Synergieeffekte aus den verschiedenen Lackierbranchen genutzt werden, um die Aufgaben zur Reduzierung der Kosten und Umweltbelastungen lösen zu können. Zentrale Ansatzpunkte bilden hierbei Lackierverfahren, -anlagen und Lackmaterialien, die bereits bei der Konzeption so ausgelegt und aufeinander abgestimmt sind, dass eine hohe Lackmaterialausnutzung erreicht wird sowie Emissionen und Abfälle weitestgehend gar nicht entstehen, sondern möglichst schon an der Quelle vermieden werden. Dennoch entstehende Verluste von Einsatzstoffen (z.B. Lackoverspray, Spüllosemittel) sollten direkt im Betrieb rückgeführt und wieder eingesetzt werden. Enger werdende Verarbeitungsfenster bei der industriellen Verarbeitung VOC-armer und intern aufarbeitbarer Lackmaterialien und schnelle Lack-/Farbwechsel machen eine kontinuierliche Prozessüberwachung in Verbindung mit der Messdatenerfassung und –Bewertung sowie Ablaufsteuerungen und Regelkreise erforderlich. Deshalb wird der Nutzung von IK-Technologien künftig eine bedeutende Rolle in der Lackiertechnik zukommen.

Kurzfristig realisierbare Ansatzpunkte zur Optimierung von Lackierprozessen
Häufig zeigen Ergebnisse bei Prozessanalysen in Lackierereien, dass neben dem oft hohen Personaleinsatz für vorbereitende Arbeiten (z.B. Reinigen, Abkleben, Spachteln und Schleifen, Trimmen) und dem Teilehandling vor allem folgende Problembereiche eine Erhöhung der Produktionskosten verursachen:

- Relativ geringer Lackmaterialnutzungsgrad,
- Übererfüllung der Spezifikationsvorgaben (z.B. Lackschichtdicke und -aufbau),
- nicht optimierte Anlagenauslastungen und
- zu hoher Nacharbeitsaufwand.

Der Lackmaterial- bzw. Festkörpernutzungsgrad (Verhältnis der auf dem zu lackierenden Werkstück aufgebrachten Lackfestkörpermenge zur verspritzten Lackfestkörpermenge) kann z.B. in der Kunststoff-Lackierbranche je nach Werkstückgeometrie und Warenträgerflächenbelegung zwischen 20 % (Kleinteile: z.B. Türgriffe) und 45 % (Großteile: z.B. Stoßfänger, TV-Gehäuse) liegen. Die dabei entstehenden Lackverluste (Overspray) verursachen neben den hohen Lackmaterialkosten auch im Folgeschritt Mehrkosten, durch die Lackschlammentsorgung, Anlagenreinigung und Entlackung, Lackkoagulierung und Spritzkabinenwasserwechsel, Energieverbrauch für die Lacknebelabscheidung sowie Nacharbeiten durch Verschmutzungen.

Insbesondere bei der manuellen Lackierung von komplizierten Teilen wird der Lackverbrauch und damit ein hoher Anteil der gesamten Lackierkosten von der Arbeitsweise und Motivation des Lackierers bestimmt. Im Extremfall kann sogar innerhalb eines Teams ein Unterschied von 100 % beobachtet werden. Aus diesem Grund ist die Schulung und Information des Lackierpersonals der wichtigste Ansatzpunkt bei der Optimierungsarbeit. Mit Hilfe spezifischer Schulungsprogramme können Lackierern die technischen Zusammenhänge der einzelnen Einstellparameter beim Spritzlackieren zur Verbesserung der Lackmaterialausnutzung und Reduzierung von Fehlermöglichkeiten vermittelt werden. In vielen Betrieben wurden Lackeinsparungen von bis zu 20 %über die Parametrierung der Zerstäuber und durch eine gezielte Personalschulung und -motivation erreicht.

Die manuelle Spritzlackierung stellt eine sehr flexible Applikationsweise dar. Große Schwankungsbreiten der Lackmaterialausnutzung beim manuellen Lackauftrag ha-

ben aber bei vielen industriellen Anwendungen bereits dazu geführt, soweit wie möglich Lackierautomaten-/Roboter mit entsprechenden Steuerungssystemen (z.B. Teileerkennung) einzusetzen, obwohl alleine durch die Personalkosteneinsparung keine sinnvolle Amortisation der Investitionskosten zu erwarten war. Es zeigte sich oft vielmehr, dass signifikante Kosteneinsparungen durch die optimierte Programmierung der Geräte in Verbindung mit der Steuerung von Lackierparametern zu Lackmaterialeinsparungen von bis zu 30 % gegenüber der manuellen Lackierung ermöglicht wurden.

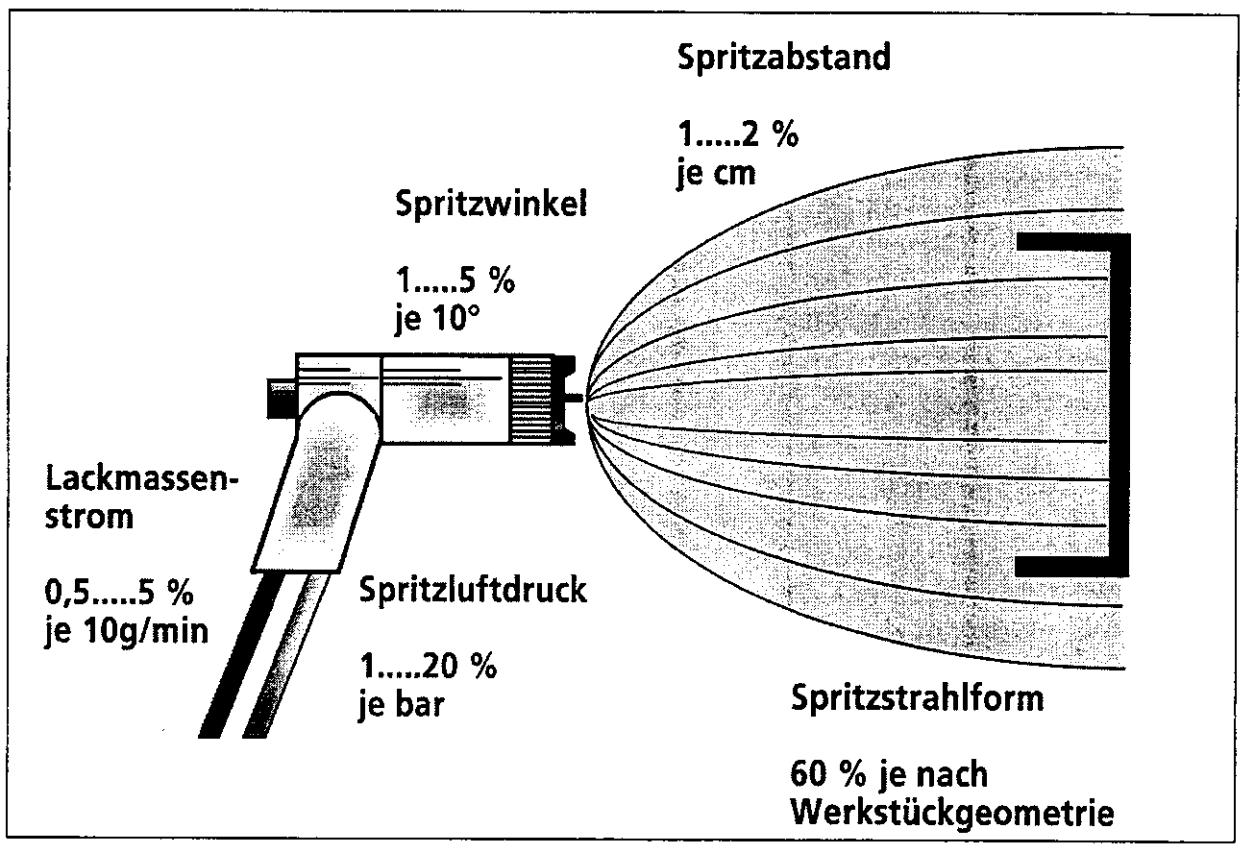


Bild 3: Einflussparameter und ihre Auswirkungen auf den Auftragswirkungsgrad
(Quelle: Fraunhofer IPA)

Während bei der Metallteilelackierung eine hohe Bandbreite unterschiedlicher Spritz-/Sprühtechniken eingesetzt wird, arbeiten die in der Kunststofflackierbranche eingesetzten Spritzpistolen überwiegend nach dem Prinzip der Druckluftzerstäubung im Hochdruckverfahren. Als günstiger bezüglich der Lackoversprayentwicklung gelten die schon seit längerem bekannten Pistolen mit Niederdruckluftzerstäubung (High-Volume-Low-Pressure (HVLP-)Technik). HVLP-Fließbecherspritzpistolen werden bevorzugt in handwerklichen Autoreparaturlackierbetrieben eingesetzt und gelten in dieser Branche seit längerem als Stand der Technik. Da bei den ersten HVLP-Pistolengenerationen die Zerstäubung vergleichsweise gröber als bei der Druckluftzerstäubung im Hochdruckverfahren ausfiel, wurde diese Technik bisher hauptsächlich für Beschichtungen mit geringerem Anspruch an die optische Beschichtungsqualität eingesetzt. Zur Einschränkung der Umweltbelastungen beim Spritzlackieren wurde in letzter Zeit von allen Spritzgeräteherstellern die Druckluftzerstäubung im Niederdruck aufgegriffen und in Form von weiterentwickelten HVLP-Spritzpistolen auf den Markt gebracht. Die erreichbaren Qualitäten wurden dabei ebenfalls verbessert. In der Kunststofflackierbranche werden die HVLP-Zerstäuber überwiegend für den

Auftrag von Grundlacken und für nicht hochglänzende Einschichtlackierungen (z.B. Gehäuseteile) mit Erfolg eingesetzt.

Die Notwendigkeit der Kosteneingrenzung erfordert zunehmend auch ein Hinterfragen der Spezifikationen. Hierbei stellt sich immer wieder die Frage, warum die für den Kunden nicht sichtbaren Teileflächen überhaupt lackiert werden oder sogar eines kompletten Lackaufbaus bedürfen. Die zuvor genannten Überlegungen lassen auch die Frage zu, ob das betreffende Teil überhaupt grundiert werden muss. Insbesondere beim Einsatz von Haftvermittlern ist zu prüfen, ob durch entsprechende Vorbehandlungsverfahren (z.B. Beflammen, Plasmabehandlung, Fluorieren bei Kunststoffteilen) oder durch einen entsprechend modifizierten Grundlack dieser Prozess entfallen kann. Positive Anwendungen bestehen bereits. Ebenfalls sind auch bei dekorativer Lackierung Anwendungen bekannt, in denen durch vorgezogene Maßnahmen ein Basislackauftrag direkt auf dem Kunststoffrohteil erfolgt.

Ein weiterer wesentlicher Ansatz bei der Optimierungsarbeit ist die Messung der Lackschichtdicken und deren Verteilung auf dem Bauteil. Im Zuge der täglichen Produktionserfüllung und in Verbindung mit den Anstrengungen zur Sicherstellung der dekorativen Qualität ist es verständlich, dass das Personal oft geneigt ist, die Parameter der Zerstäubung im Sinne der Fertigungssicherheit mit höheren Werten einzustellen („viel hilft viel"). In vielen Betrieben sind Überbeschichtungen (oft bis zu 50 %) durch diese Arbeitsweise festzustellen. Über der Spezifikation liegende Lackschichtdicken sind jedoch als Verluste wertvoller Einsatzstoffe zu verstehen. Ständige Informationen über die Abhängigkeit der Lackierkostenentwicklung von der Lackschichtdicke und permanente Schichtdickenkontrolle sind für die Korrektur der Arbeitsausführung zur Annäherung an die geforderte Mindestschichtdicke unerlässlich. Allerdings richtet sich insbesondere beim automatischen Lackauftrag die Fertigungssicherheit einer Lackierung auch nach den vorliegenden Toleranzen beim Lackmaterial und den Geräten (z.B. Dosieranlagen, Spritzdüse, Luftkappe).

Weitere prozesstechnische Optimierungen des Lackierprozesses sind zum Beispiel:

- Reduzierung von Nachlackierungen und Ausschuss durch konsequente Fehlervermeidung (z.B. durch Realisierung von Sauberkeitskonzepten),
- Senkung der Lack- und Lösemittelreste (z.B. Einsatz von Farbwechselblöcken in Kombination mit z.B. alternierendem Lösemittel-Druckluftspülen, Molchsystem, Einsatz von 2K Misch- und Dosieranlagen, Einsatz von Pistolenwaschgeräten, Interne Destillation von Schmutzverdünnern),
- Einsatz von Mehrweg-Gebinden,
- Senkung des Koagulationsmittelverbrauchs sowie Verbesserung der Standzeit des Spritzkabinenwassers (z.B. kontinuierliche, bedarfsgerechte Koaguliermitteldosierung bei Oversprayanfall, kontinuierlicher Koagulataustrag),
- nachträgliche Entwässerung des Lackkoagulats (z.B. Lackschlammpresse).

In vielen Betrieben ist festzustellen, dass neben hohem Lackverbrauch vor allem auch eine zu geringe Anlagenauslastung für die hohen Lackierkosten verantwortlich sind. Da bei bestehenden Lackieranlagen ein Großteil der Lackierprozesskosten systembedingt durch die Anlagenausführung festgelegt sind und nachträgliche Optimierungen mit geringen Investitionen zur Verbesserung des Materialflusses, der Anlagentechnik sowie des Energieverbrauches nur noch eingeschränkt möglich sind, sollten folgende Ansatzpunkte betrachtet werden:

- Optimierung der Flächenbelegung der Warenträger,
- Erhöhung der Fördergeschwindigkeit,
- Vermeidung von Anlagenstillstandzeiten und
- Reduzierung von Pausenzeiten.

Durch die Erhöhung der Flächenbelegung der Warenträger wird neben einer Erhöhung der Anlagenkapazität auch der Lackmaterialnutzungsgrad deutlich verbessert, da dem Lacknebel weniger „leere Fläche" auf dem Warenträger angeboten wird. Mit der erzielten Stückzahlsteigerung je Skid (je Zeiteinheit) können bei fast konstanten Maschinenkosten zusätzliche Aufträge bearbeitet werden. Die Optimierung der Flächenbelegung der Warenträger muss in Zusammenarbeit zwischen Konstrukteur und Lackierer bzw. Roboterführer erfolgen. Die Lösungen sind generell betriebs- und produktspezifisch.
Eine andere Möglichkeit ist die Reduzierung der täglichen bzw. wöchentlichen Anlagenlaufzeit (je nach Betriebsmodell) zur Reduzierung der Energiekosten und z.T. auch der Personalkosten.
Eine organisatorische Maßnahme ist das Durchfahren von Pausenzeiten und der fliegende Schichtwechsel durch den Einsatz von Springern.
Durch die oben skizzierten Maßnahmen zur Verbesserung des Lackmaterialnutzungsgrades wird die Lackabscheidung auf den Teilen je Zeiteinheit erhöht. Diesem Effekt kann durch die Reduzierung der Lackausflussmenge begegnet werden. Besser im Sinne der Verbesserung der Anlagenauslastung ist, die Fördergeschwindigkeit (Teiledurchsatz) zu erhöhen (bis zu 30 % beim Wechsel vom konventionellen Druckluftzerstäuben auf das elektrostatische Lackieren). Dabei werden in der Praxis oft Anpassungen und Optimierungen der Prozesstechnik (z.B. am Lackmaterial, im Bereich der Abdunstzone) erforderlich.
Anlagenstörungen sowie Rüst- und Reinigungszeiten reduzieren teilweise erheblich die Anlagennutzung. Systematische Schwachstellenanalysen in Verbindung mit Statistiken und Störprotokollen helfen, um einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess im Betrieb zu erreichen. Dabei werden künftig EDV-unterstützte Meß- und Regeltechniken in Kombination mit IK-Technologien eine bedeutende Rolle in der Prozessüberwachung und –Steuerung übernehmen.

Mittelfristig erreichbare Ziele zur Steigerung der Effizienz
Meilenstein 1: Erhöhung des Lack-Auftragswirkungsgrads
Am Beispiel der Kunststofflackierbranche, in der bislang oversprayarme elektrostatische Lackapplikationen nur vereinzelt angewendet werden, wird deutlich, dass bei Serienlackierungen von Kunststoffteilen ein sehr hohes Potenzial zur Lackmaterialeinsparung (bis zu 50 % gegenüber konventioneller Druckluftzerstäubung) über die Realisierung des elektrostatischen Lackauftrages mit hocheffektiven Zerstäubern (elektrostatische Hochrotationsglocke) erzielbar sind. Bisher werden in dieser Branche elektrostatische Lackierverfahren insbesondere bei Mehrschichtaufbauten ein-

gesetzt. In der Regel erfolgt hierbei der Auftrag einer leitfähigen Grundierung mit konventionellen Lackierpistolen. Die nachfolgende Basislackbeschichtung wird ebenfalls meist mit konventionellen Lackierpistolen aufgebracht. Der anschließende Klarlackauftrag erfolgt in einigen Betrieben elektrostatisch (z.B. mit Hochrotationsglocken). Für diesen Ablauf bestehen inzwischen umfangreiche Serienerfahrungen.

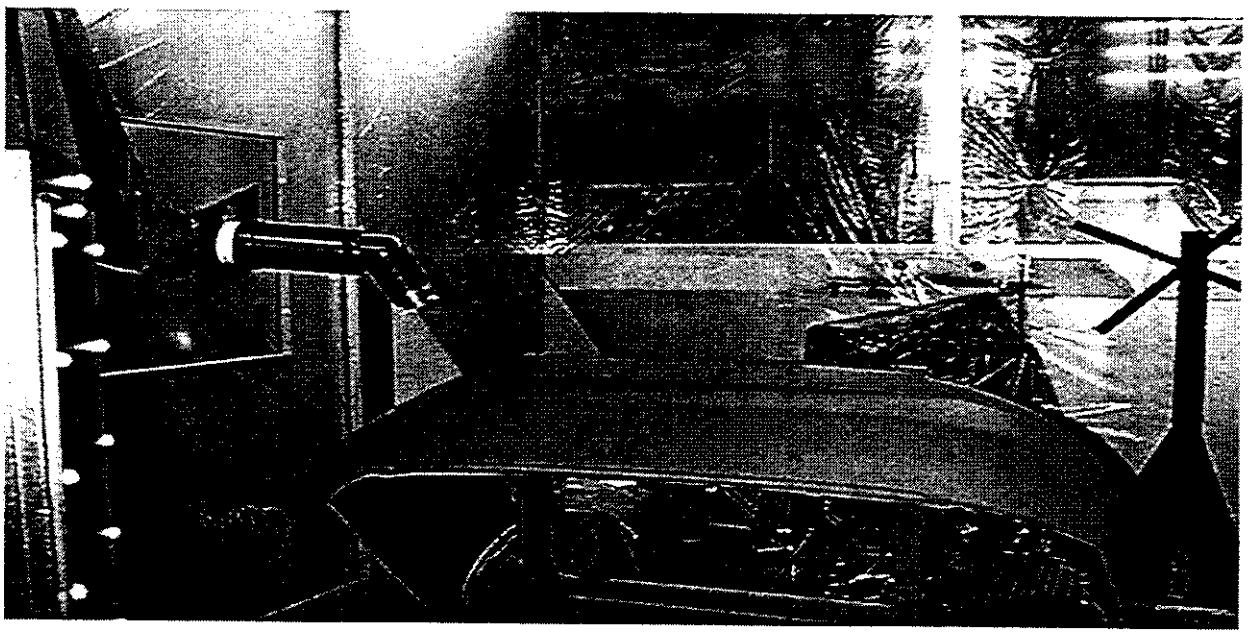


Bild 4: Beispielhafte elektrostatische Lackierung eines Kunststoff-Stoßfängers mit einem Hochrotationszerstäuber (Quelle: Fraunhofer IPA)

Für zahlreiche Einschichtlackierungen und Anwendungen, bei denen ein Leitlack aus Qualitätsgründen (z.B. Elastizität) nicht zu akzeptieren ist, mussten deshalb neue Wege gefunden werden. Des weiteren sind auch hohe Einsparungen möglich, wenn es gelingt, die Grundierung und die Basislackbeschichtung (zumindest teilweise) elektrostatisch aufzutragen. Hierzu wurden - im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e.V. (DFO) koordinierten Projekts - Maßnahmen für die elektrostatische Lackierung von Kunststoffteilen in Zusammenarbeit mit 23 Unternehmen durchgeführt und im Technikum des Fraunhofer IPA getestet. Die zu untersuchenden Anwendungen waren Stoßfänger aus PP/EPDM, Fernseher-Gehäuse aus ABS und Kfz-Türgriffe aus PP. Da Kunststoffteile i.d.R. elektrische Nichtleiter sind, bestand beim Vorhaben die Aufgabe, die bei der elektrostatischen Lackverarbeitung den Lackpartikeln mitgegebene Ladung beim Benetzen der Werkstückoberfläche abzuführen. Dazu wurden zwei Möglichkeiten entwickelt und in Technikums- bzw. Produktionsversuchen umgesetzt:

1. Abführung der Ladungen über den gerade erzeugten Nasslackfilm und
2. Abführung der Ladungen über Feldsteuerung.

Während das Abführen der Ladungen über den gerade erzeugten Nasslackfilm bei Wasserlacken und hochleitfähigen Lösemittellacken generell sicher angewendet werden kann, ist bei hochohmigen Lacken der Erfolg von der Größe der zu lackierenden Teile sowie von der Form, dem Einsatzort und der Anzahl der Erdungskontakte abhängig. Dieses Verfahren kann bei Bedarf durch Maßnahmen zur Steuerung des elektrostatischen Feldes ergänzt werden. Drückelektroden zur Sprühstrahlformung (kombinierte Aufladung: Kontakt- und Außenaufladung) werden in der Praxis bereits eingesetzt.

Die Umsetzung dieses elektrostatischen Lackierprinzips bei elektrischen Nichtleitern mit Hilfe der unterstützenden "Abführung der Ladungen über den gerade erzeugten Nasslackfilm" (z.B. durch partielles Vorspritzen bei der Verarbeitung von Wasserlacken) ist in der Praxis mit relativ einfachen Maßnahmen realisierbar. Die Ergebnisse der Machbarkeitsuntersuchungen zeigen auch, dass die elektrostatische Lackierung von Kunststoffteilen bei bestimmten Voraussetzungen ohne zusätzliche Arbeitsschritte und ohne Auftrag von leitfähigen Beschichtungen auch unter Produktionsbedingungen möglich ist. Nachdem bereits einzelne Serienanwendungen bestehen, ist eine künftige Ausweitung der Anwendungsfälle insbesondere bei Neukonzeptionen von Lackieranlagen zu erwarten.

Meilenstein 2: Innerbetriebliches Lackoverspray-Recycling

Im Laufe der letzten Jahre wurden verschiedene Recyclingverfahren entwickelt und in die Praxis umgesetzt, um beim Spritzlackieren entstehendes Lackoverspray intern zurückzugewinnen und wieder – meist mit Frischlackmaterial verschnitten – zu verarbeiten. Durch die Kombination aus oversprayarmer Applikation und internem Nasslackoverspray-Recycling lässt sich ein hoher Lackmaterial-Nutzungsgrad in der Gesamtbilanz der Lackierzone und damit ein wirtschaftlicher Prozess ab einer jährlichen Overspraymenge von etwa 3-5 Tonnen (Orientierungswert) in Abhängigkeit vom Lackeinkaufspreis erzielen. Die Anwendung der Nasslackoverspray-Recyclingtechniken ist nur mit dem Einsatz von wässrigen 1K-Lacken, Dispersionslacken oder UV-härtenden Lacken möglich und auch auf Grund der Lösemittelbilanz nur bei diesen Lacksystemen sinnvoll. Bei der Flachteilebeschichtung in der Holzmöbelindustrie bestehen demgegenüber auch Einzelanwendungen, bei denen auch 2K-Lackoverspray mittels Recyclingbändern (z.B. Gurtband/Ringrakel, schnellumlaufendes Band) zurückgewonnen werden. Der Einsatz von Overspray-Recyclingtechniken sollte insbesondere bei der Neukonzeption einer Lackieranlage in den Planungen einbezogen werden. Die folgende Übersicht zeigt zusammengefasst die charakteristischen Merkmale und Einsatzbereiche der in der Praxis bereits mehrfach realisierten Verfahren zum innerbetrieblichen Recycling von 1K-Wasserlackoverspray:

Verfahren / **Kriterium**	**Gekühlte Auffang-Fläche**	**Lack-beflutete Kabine**	**Rotierende Auffang-Säule**	**Schnellum-laufendes L-Band**	**Ultra-filtration**
Overspray-Rückgewinnungsrate (η); (Bereich)	ca. 60 - 90 %	ca. 90 - 95 %	ca. 70 - 90 %	ca. 60 - 90 %	ca. 85 - 97 %
Realisierung in folgenden Branchen:					
• Möbelindustrie/Holzverarbeitende Industrie		+	+	+	+
• Bauindustrie und Bauhandwerk	+		+		
• Straßenfahrzeugbau, Kfz-Zuliefererindustrie	+				+
• EBM-(Eisen, Blech- und Metall)Industrie	+	+			+
Wirkprinzip der Lackoverspray-Rückgewinnung	physikalisch	physikalisch	physikalisch	physikalisch	physikalisch
Beschichtungsstoff: 1K-Wasserlack (luft-/ofentrocknend, Einbrennlack, strahlenhärtend)	+	+	+	+	+

Tabelle 4: Interne Nasslackoverspray-Recyclingverfahren bei Spritzkabinen-/ständen

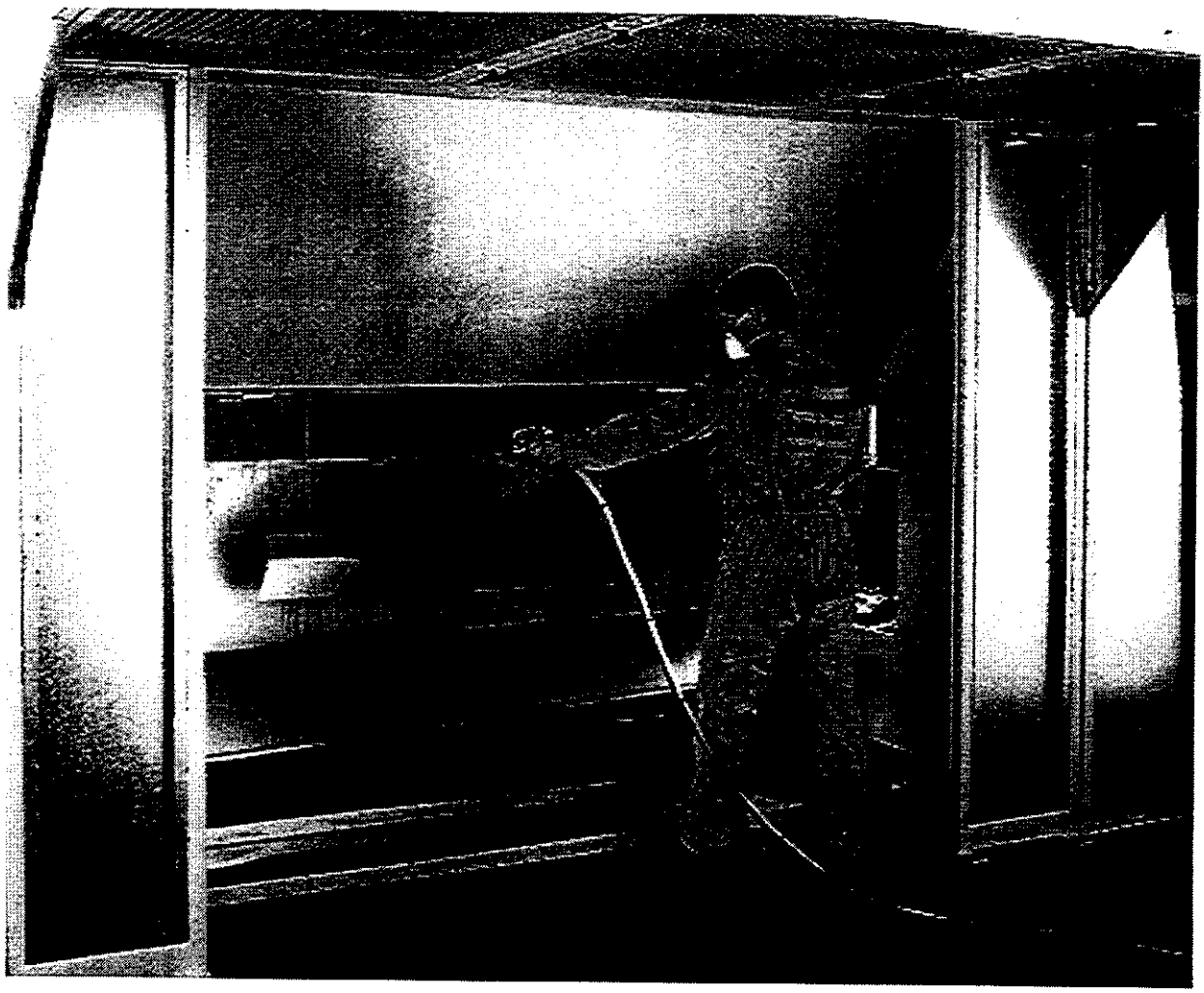


Bild 5: Beispiel eines Spritzstandes inkl. Wasserlackoverspray-Recycling mittels gekühlter Auffangfläche (Quelle: Range + Heine)

In der Kunststofflackierbranche werden zum Großteil 2K-Lacke eingesetzt. Die Anwendung der Lackoverspray-Recyclingtechniken in der kunststoffverarbeitenden Industrie ist daher eng an die Entwicklung wässriger 1K-Lacke, Dispersionslacke oder UV-härtende Lacke gebunden. Hinsichtlich der Spezifikationserfüllung werden langfristig gute Chancen hinsichtlich UV-härtender Lacke gesehen.

Langfristig erreichbare Ziele für die Kunststoffteilelackierung

Für die in der Metalllackierung weit verbreiteten Pulverlacke werden vor allem duroplastische Filmbildner, wie Polyester, Epoxidharz, Acrylharz und Polyurethane eingesetzt. Bei der Filmbildung erfolgt durch die hohen Härtungstemperaturen von ca. 170° C ein Verfließen der einzelnen Polymermoleküle und anschließend die für die einzelnen Filmbildner typische Vernetzungsreaktion. Teilweise kommen auch thermoplastische Filmbildner, wie Polyamid, Polyethylen und Polyvinylchlorid zum Einsatz. Die Filmbildung erfolgt hier durch einen reinen Schmelzvorgang bei Temperaturen zwischen 150 und 240°C.

Dem Einsatz von Pulverlacken über die elektrostatischen Sprühverfahren ist durch die Anforderungen an die funktionellen Lackfilmeigenschaften und wegen verfahrensbedingten Notwendigkeiten (z.B. Leitfähigkeit und Temperaturbeständigkeit des Kunststoffteils) enge Grenzen gesetzt. Bisher gibt es nur wenige serienmäßige An-

wendungsfälle. Durch Fortschritte bei der Formulierung von Niedrigtemperaturpulvern mit Einbrenntemperaturen von ca. 140° C und UV-härtende Pulverlacke mit Aufschmelztemperaturen von ca. 110°C sowie durch die Weiterentwicklungen der Applikations- und Härtungstechniken sind mittel- bis langfristig weitere Pulverlackeinsätze zur Beschichtung leitfähiger Duroplaste und temperaturbeständiger Thermoplaste (z.B. PA/PPO) in Einzelfällen zu erwarten.

Künftige F&E-Aktivitäten

Vor dem Hintergrund erfolgversprechender technischer Ansatzpunkte zur Steigerung der Effizienz bei der Lackierung von elektrischen Nichtleitern (z.B. bzgl. Elektrostatik, Niedertemperatur-Lacken, thermostabilen Kunststoffsubstrate) wurde Mitte diesen Jahres ein Iniativkreis, bestehend aus Fraunhofer IPA, einem Spanischen und einem Britischen Institut sowie ABAG-itm, gegründet, um die F&E-Aktivitäten mit der Zielsetzung der Weiterentwicklung rationeller und umweltschonender Beschichtungstechniken auf dem Sektor der Kunststoffteilelackierung zu bündeln und in Kooperation weiter voranzubringen.

Der Arbeitsschwerpunkt der anwendungsorientierten Untersuchungen ist die VOC-arme und ressourcenschonende Beschichtung von Kunststoffteilen, d.h. insbesondere mit Wasserlacken oder strahlenhärtenden Lacken - und zukunftsorientiert - mit Pulverlackmaterial. Es ist vorgesehen, dieses Vorhaben der EU im Rahmen des 5.FTE-Rahmenprogramms zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe in der Lackierbranche als Fördervorhaben vorzuschlagen. Der Iniativkreis sucht noch interessierte kleine und mittlere Unternehmen (KMU) aus dem Umfeld der Lackhersteller, Kunststoff- und Rohstoffhersteller, Kunststoffverarbeiter, Kunststoffteilelackierer aus dem In- und Ausland, die Interesse an einem solchen Förderprojekt haben. Interessenten können sich direkt beim Autor (Tel: +49/711/951911-17) melden.

Fazit

Mit neuen Fertigungs- und Anlagenkonzepten (z.B. Inmould-Coating, kleine, zentrale "Fertigungsinseln"), Einbindung von modernen Lackmaterialien (VOC-arme Lacke oder Pulverlacke), weiterentwickelten Applikationstechniken und neuen Instrumenten aus der IK-Technologie (z.B. PC-unterstützte Mess- und Regeltechnik sowie Ablaufsteuerung, Prozess-Simulation, Virtual Reality) wird es möglich sein, in der Anwendung von Lackierprozessen spezifisches Wissen noch greifbarer und schneller zu machen.

Enger werdende Applikationsfenster bei der Anwendung von Pulverlackmaterial auf definierten Kunststoffsubstraten und Metallwerkstücken verlangen zunehmend die Unterstützung durch IK-Technologien, um dem Fertigungsprozess im Alltag zu beherrschen. IK-Techniken bieten darüber hinaus Chancen, die Grenzen der Kunststoffteilelackierung zu erweitern, damit sie in die Prozesstechnik der Metallteilelackierung integriert werden kann. Dies steigert die Werkstückvielfalt der Lackierung in ein und derselben Anlagenkonfiguration und verbessert dadurch die Fertigungsflexibilität bei geringerem Platzbedarf und niedrigen Betriebskosen. Für viele Anwendungsfälle stellt diese Verfahrenskombination eine innovative – und ganzheitliche - Lackiertechnik für das nächste Jahrhundert dar. Dazu müssen die technische Regelwerke zur Ermittlung der anwendungstechnischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen durch Forschungsprojekte noch erarbeitet und entwickelt werden.

Literatur

/1/ LABEIN, S.A. (ES), Plastic Production in the EU, persönliche Information, 10/1999
/2/ Matt oder glänzend – Lackieren von High-Tech-Kunststoffen für Autos, T. Schmidt, Metalloberfläche 10/1999
/3/ Vermeiden von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren – Maschinenlakkierung, D. Toussaint et. al., 9/1991, Herausgeber: ABAG-itm
/4/ Vermeiden von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren – Kunststoffteilelackierung, U. Hoffmann et. al., 10/1994, Herausgeber: ABAG-itm
/5/ Machbarkeitsuntersuchung: Pulverbeschichtung von Kunststoffteilen, M. Cudacco, 1/1999, Herausgeber: ABAG-itm
/6/ Fraunhofer IPA-Technologieschau 1997, Tagungsmappe "Kunststoffteilelackierung"
/7/ Jahrbuch für Lackierbetriebe 1998, Lackieren von Kunststoffteilen, Vincentz Verlag 1998, U. Hoffmann.
/8/ Taschenbuch für Lackierbetriebe 1997, Beschichten von Kunststoffteilen mit Pulverlacken, Vincentz Verlag 1997, U. Hoffmann, U. Strohbeck
/9/ Einsatzmöglichkeiten und Grenzen des Lackoverspray-Recyclings, Erich Schmidt Verlag, T. Grupp, 10/1998
/10/ Farbwechsel-Stress – Diagnose und Therapien, JOT Journal für Oberflächentechnik 10/1999, H.J. Nolte, T. Grupp