ABAG-itm

Projektbericht

Filterhilfsmittelfreies Druckfiltersystem zum Reinigen von Hochleistungskühlschmierstoffen bei Schleifanwendungen

im Auftrag der
ABAG-itm GmbH
Stauferstr. 15
D-70736 Fellbach

Projektträger
Wahl Verzahntechnik
Klingenbach Str. 1
D-72336 Balingen-Engstlatt
Ansprechpartner: Herr Friedrich Wahl

Projektbegleiter
Universität Stuttgart
Institut für Werkzeugmaschinen
Holzgartenstr. 17
D-70174 Stuttgart

April 2000

Erarbeitung:
Dipl.-Ing. Matthias Luik, Universität Stuttgart, Institut für Werkzeugmaschinen, Stuttgart

Für die kooperative Mitwirkung an diesem Projekt bedankt sich die ABAG insbesondere bei Herrn Friedrich Wahl, Wahl Verzahnungstechnik sowie Herrn Uwe Gutsche.

Die Durchführung dieses Modellprojekts sowie die wissenschaftliche Begleitung wurde mit Mitteln der Sonderabfallabgabe des Landes Baden-Württemberg unterstützt.

Herausgeber:
ABAG-itm GmbH
Stauferstr. 15
70736 Fellbach
Tel.: 0711 / 95 19 11 - 0
Fax: 0711 / 95 19 11 - 20
E-Mail: info@abag-itm.de
Internet: www.abag-itm.de

Projektleitung:
Dipl.-Ing. Hermann Kißler

April 2000

Gedruckt auf: weiß mattgestrichen Offset chlorfrei gebleicht (Umschlag)

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

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung **2**
2 Einleitung **4**
3 Stand der Technik **6**
3.1 Ausgangssituation 6
3.1.1 Aufgaben und Eigenschaften von Kühlschmierstoffen 6
3.1.2 Gliederung der Kühlschmierstoffarten 7
3.2 Vermeidung und Verminderung von Abfällen aus der Metallbe- und -verarbeitung 8
3.3 Pflege und Reinigung von Kühlschmierstoffen 9
3.3.1 Reinigung von Kühlschmierstoffen von festen Fremdstoffen 10
3.3.2 Reinigung ohne Filterhilfsmittel 15
3.4 Kriterien für die Auswahl von Reinigungsverfahren 16
3.4.1 Anlagen zur Einzelversorgung und Zentralanlagen 16
3.4.2 Auswahlkriterien 17
3.5 Weiterbehandlung der Schleifschlämme 18
4 Zielsetzung **19**
5 Filterhilsmittelfreie Reinigungstechnologie **20**
5.1 Ausgangslage beim Modellbetrieb 20
5.2 Neues KSS-Druckfiltersystem 21
5.3 Beschreibung der Anlage 22
5.3.1 Filterzylinder 23
5.3.2 Filter 24
5.3.3 Pressen 24
5.3.4 Modulare Bauweise 24
5.4 Einsatzgrenzen 24
6 Durchgeführte Untersuchungen **26**
7 Ergebnisse **27**
7.1 Optimierung der Anlage 27
7.2 Restölgehalt im Schleifschlamm 31
7.3 Einsparung an Kühlschmierstoff durch längere Standzeit 33
8 Witschaftlichkeitsbetrachtung **34**
8.1 Kosten der bisherigen Anlage 34
8.1.1 Kühlschmierstoff-Bedarf der bisherigen Anlage 34
8.1.2 Kosten der KSS- und Schlammentsorgung der bisherigen Anlage 34
8.1.3 Kosten durch Schleifschlamm-Handling 34
8.2 Kosten der neuen Anlage 35
8.2.1 Kühlschmierstoff-Bedarf der neuen Anlage 35
8.2.2 Kosten der KSS- und Schlammentsorgung der neuen Anlage 35
8.2.3 Bedienkosten der neuen Anlage 35
8.3 Gegenüberstellung der Kosten der bisherigen und der neuen Anlage 36
8.4 Amortisationszeit 36
9 Übertragbarkeit auf andere Branchen und Ausblick **38**
10 Literatur **39**

1 Zusammenfassung

Bei der spanenden Bearbeitung von Metallen, Keramikwerkstoffen und Glas werden nach wie vor große Mengen von Kühlschmierstoffen (KSS) zur Prozessoptimierung eingesetzt. Insbesondere beim Schleifen hat die Kühl- und Spülwirkung eine besondere Bedeutung,, um die Bearbeitungsprozesse effektiver und damit wirtschaftlicher zu machen. Die Möglichkeiten des KSS-Verzichts, d.h. der Trockenbearbeitung sind nach heutigem Kenntnisstand für diese Prozesse nur in Ausnahmen realisierbar.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden 1999 ca. 27.000 t wassermischbare KSS-Konzentrate und ca. 40.000 t nichtwassermischbare KSS (Öle) verkauft. An Abfällen resultierten daraus ca. 400.000 t/a verbrauchter Kühlschmierstoffe (Emulsionen und Öle) sowie ca. 200.000 t/a ölhaltiger Schleifschlämme.

Mit dem durchgeführten Modellprojekt wurden in erster Linie zwei Ziele verfolgt:
- Optimierung der Badstandzeiten der im Kreislauf geführten KSS durch verbesserte Pflege sowie
- Reduzierung der KSS-bedingten Abfälle durch Einsatz einer ohne Einwegfiltermittel arbeitenden Filtrationsanlage und Reduzierung der Austragsverluste.

Ansatzpunkt war der für Schleifbearbeitungen typische Produktionsbereich mit einzelversorgten Schleifmaschinen. Bei Badvolumen im Bereich von 150 l bis max. 1000 l werden hier üblicherweise Filtrationssysteme mit Einwegfiltermitteln wie Filtervliese oder Anschwemmittel (z.B. Kieselgur) eingesetzt. Neben den Kosten für das Verbrauchsmaterial erhöht sich dadurch die Abfallmenge (Schleifschlamm und Filterhilfsmittel) und es werden erhebliche KSS-Anteile aus dem Maschinenkreislauf ausgetragen.

Der Modellbetrieb, die Fa. Wahl Verzahntechnik in Balingen, ist ein mittelständischer Betrieb mit 25 Mitarbeitern, der sich auf die Fertigung hochwertiger Verzahnungen in kleinen Stückzahlen spezialisiert hat. Bei der Schleifbearbeitung kommen drei Zahnflankenschleifmaschinen zum Einsatz. Durch unzureichende Reinigung der eingesetzten KSS-Öle mußte der KSS zwei Mal pro Jahr ausgetauscht werden. Die daraus resultierenden Entsorgungsmengen beliefen sich auf 4.800 l/a verbrauchter KSS-Öle und 5.760 kg/a ölhaltiger Schleifschlämme. Die Reinigung der Maschinen und der eingesetzten Zentrifugen war zudem sehr zeitaufwendig.

Zur Verbesserung sowohl der ökologischen als auch der ökonomischen Situation wurde eine auf die Anforderungen zugeschnittene, ohne Hilfsmittel arbeitende Filtrationsanlage eingesetzt. Das erprobte Druckfiltersystem wurde insbesondere für Hochleistungskühlschmierstoffe bei Durchsätzen von bis zu 300 l/min ausgelegt. Das Filtermedium besteht aus mehreren Edelstahlgewebelagen, die auf eine senkrechte Filtertrommel aufgespannt sind. Die Durchströmung erfolgt von außen nach innen. Wenn der aufgebaute Filterkuchen zu stark wird, d.h. den Durchfluss zu stark begrenzt, erfolgt die Reinigung durch Absaugen des Filterkuchens vom Gewebe. Durch redundante Anordnung von zwei Filtertrommeln ist die KSS-Versorgung der Maschinen auch während des Abreinigungsvorgangs gewährleistet. Der abgesaugte Schleifschlamm wird anschließend einer integrierten Presseinrichtung zugeführt. Der Hauptanteil des mit dem Schleifschlamm ausgetragenen KSS wird dabei abgetrennt und schmutzseitig wieder in den KSS-Kreislauf zurückgeführt. Der Ölgehalt des Schleifschlamms konnte damit von ursprünglich 40% auf 13% reduziert werden. Der Schleifschlamm liegt anschließend in Form von Presslingen vor, aus denen kein Restöl mehr austritt. Handling und Lagerung vereinfachen sich dadurch erheblich. Die Druckfilteranlage wurde als zentrale Versorgungsanlage für drei Zahnflankenschleifmaschinen installiert und Betriebserfahrungen über einen Zeitraum von 6 Monaten gesammelt.

Vorteile der erprobten Filtrationsanlage sind:
- bessere Prozessicherheit und Qualität,
- weniger KSS-Verbrauch (längere Standzeit, geringerer Austrag),
- geringere Entsorgungsmengen und -kosten,
- geringerer Personalaufwand für Maschinenreinigung und KSS-Pflege sowie
- gestiegene Arbeitsplatzqualität (z.B. Sauberkeit).

Dem stehen folgende Nachteile gegenüber:
- höhere Investitionskosten,
- gestiegener Platzbedarf sowie
- Abhängigkeit von einer (zentralen) Anlage.

Mit der in diesem Modellprojekt erstmalig im Produktionseinsatz erprobten hilfsmittelfreien Filteranlage konnte die Standzeit des KSS-Öls auf ca. drei Jahre, d.h. um den Faktor sechs erhöht und zusätzlich die zu entsorgende Schleifschlammenge um ein Drittel reduziert werden. Angeschlossen an drei Schleifmaschinen beträgt die Amortisationszeit der Anlage unter zwei Jahre. Die Anlage kann, insbesondere durch die freie Auswahl des Filtrationsgewebes, an verschiedene Filtrationsanforderungen angepasst werden. Damit ist ein breites Einsatzspektrum gewährleistet.

Ölhaltige Schleifschlämme sind ein Resultat aus der KSS-Pflege und damit als solche nicht grundsätzlich vermeidbar. Durch die Substituierung von Einwegfiltermitteln und die Reduzierung des Ölgehalts lässt sich das Aufkommen an ölhaltigen Schleifschlämmen jedoch erheblich reduzieren. Die bessere Abfallqualität ermöglicht zudem meist eine metallurgische Verwertung. Entsprechende Verwertungsschienen wurden in den letzten Jahren auch mit Unterstützung durch Fördermittel des Umwelt- und Verkehrsministeriums Baden Württemberg aufgebaut.

2 Einleitung

Kühlschmierstoffe werden nach wie vor bei über 90 % aller spanenden und umformenden Metallbearbeitungsprozesse, aber z.B. auch beim Schleifen von Glas und Keramik eingesetzt. Die Hauptaufgaben sind Schmieren und Kühlen der Bearbeitungsstelle sowie das Wegspülen der Späne. Dadurch kann der Bearbeitungsprozess optimiert, bzw. teilweise sogar erst industriell ermöglicht werden. Die Anforderungen an KSS sind in den letzten Jahren erheblich gestiegen. Neben den technologischen Anforderungen müssen KSS zusätzlich die Kriterien aus Arbeitssicherheit und Umweltschutz erfüllen.

Um größere Effektivität, d.h. größere Zerspanleistung bei gleichzeitiger Beachtung der genannten Anforderungen zu gewährleisten, findet ein großes Spektrum eigenschaftsverbessernder Additive (am Markt sind über 300 Produkte) Verwendung. In der Praxis kann ein KSS aus bis zu 30 Komponenten bestehen. Für den Anwender, insbesondere aus mittelständischen und Kleinbetrieben, besteht damit die Problematik, aus der Fülle der angebotenen Produkte die, oder besser das für ihn geeignete Produkt auszuwählen.

Bei der Diskussion, ob nichtwassermischbare KSS oder wassergemischte KSS insgesamt vorteilhafter sind, ist derzeit kein klarer Trend auszumachen. Die jeweiligen systembedingten Vor- und Nachteile müssen vom Anwender auf die betriebsspezifische Situation übertragen und zur Ergebnisfindung bewertet werden. Eine solche Betrachtung kann nur ganzheitlich erfolgen, d.h. auch kostenmäßig schwer zu erfassende Aspekte wie z.B. Auswirkungen auf Folgeprozesse oder Arbeitsplatzqualität und Arbeitshygiene müssen in die Betrachtung mit einfließen.

Erst wenn man alle mit dem Einsatz von Kühlschmierstoffen verbundenen Kosten, wie z. B. auch Investitionen und umweltbedingte Folgekosten einbezieht, wird auch das vorhandene Optimierungspotential deutlich. In den wenigsten Unternehmen werden die KSS-bedingten Kosten in ihrer vollen Bandbreite erfasst und dokumentiert. Anhaltspunkte, um welche Dimensionen es sich hier handelt, liefert eine Untersuchung des statistischen Bundesamts. 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 mit ca. 36 % die Beschaffungs- und Entsorgungskosten für die Kühlschmierstoffe und mit ca. 40 % die Investitionen, d.h. die erforderlichen Anlagenkosten zur Maschinenversorgung sowie zur Pflege und Überwachung insbesondere bei wassergemischten Kühlschmierstoffen, die wesentlichsten Anteile an den Gesamtkosten für den KSS-Einsatz dar. 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 und Böden bis hin zum gesamten Produktionsbereich ein. Weitere Aspekte wie z.B. die Arbeitsplatzqualität sind ebenfalls einzubeziehen, lassen sich aber oft nur schwer erfassen.

Bei Schleifprozessen werden je nach Anforderung KSS-Lösungen oder in den letzten Jahren in zunehmendem Maße KSS-Öle auf Mineralöl-, synthetischer oder Esterbasis eingesetzt. Die richtige Pflege ist bei hohen Qualitätsanforderungen ein wichtiger Faktor für gute Bearbeitungsergebnisse, lange Standzeiten der KSS und geringe Entsorgungsmengen. Beim Schleifen, ebenso wie bei anderen spanenden Bearbeitungsprozessen, bei denen größere Mengen feiner Metallspäne entstehen, ist die Entfernung der Feinspäne und des Schleifmittelabriebs aus dem KSS Hauptaufgabe der KSS-Pflege. Mit den gängigen Band- oder Anschwemmfiltern werden hierzu üblicherweise Systeme eingesetzt, bei denen Hilfsmittel wie Filtervliese oder Anschwemmittel (z.B. Kieselgur) als Einwegsysteme benötigt werden. Neben den zusätzlichen Kosten für das Verbrauchsmaterial erhöht sich bei der Verwendung von Einwegfiltermitteln die Abfallmenge (Schleifschlamm und Filterhilfsmittel) und es wird mehr KSS aus dem Maschinenkreislauf ausgetragen.

Eine optimierte Kreislaufführung und die Reduzierung der Austragsverluste über die abfiltrierten Schleifschlämme, wie dies in Abbildung 2-1 schematisch dargestellt ist, liefern somit einen Beitrag zur Verbesserung der betrieblichen Umweltsituation bei gleichzeitiger Kostenreduzierung.

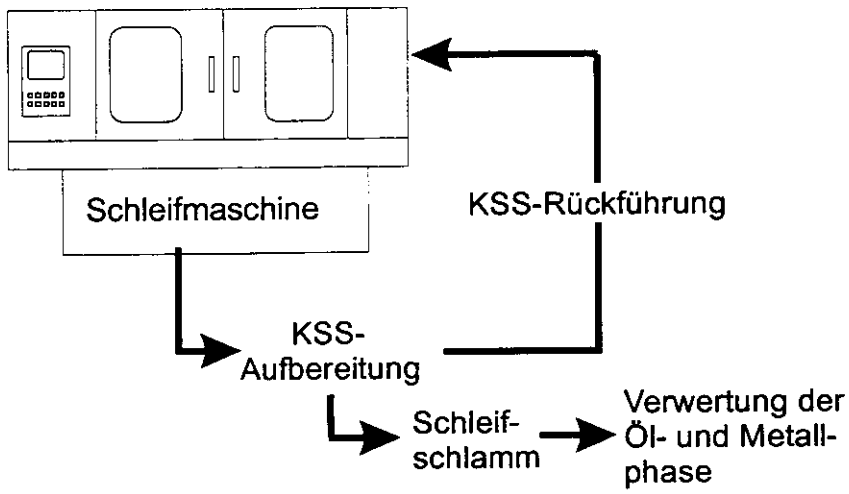


Abbildung 2-1: KSS-Kreislauf durch KSS-Aufbereitung

3 Stand der Technik

3.1 Ausgangssituation

Die unterschiedlichen Bearbeitungsaufgaben in der metallbe- und -verarbeitenden Industrie und der stoffliche Aufbau der dabei eingesetzten Kühlschmierstoffe führen zu einer Vielzahl unterschiedlicher Sonderabfälle, die in Tabelle 3-1 gezeigt sind.

Sonderabfälle in der metallbe- und -verarbeitenden Industrie **Spanende und umformende Bearbeitungsverfahren**	
Kühlschmierstoffe	
a) wassermischbare KSS	Bohr- und Schneidöle Konzentrate Emulsionen und Lösungen (Basis: Mineralöl, synthetisch, pflanzlich)
b) nichtwassermischbare KSS	Honöle Stanzöle Ziehfette
Schlämme	Schleifschlämme Schlämme aus KSS-Filterung sonst. Bearbeitungsschlämme
Späne	Mit KSS kontaminierte Fe- oder NE-Metallspäne
Verunreinigte Filtermedien	Filtervlies aus der Filterung von Emulsionen, Filterpatronen aus Erodiermaschinen, Anschwemmfilter

Tabelle 3-1: Wesentliche Sonderabfälle der metallbe- und -verarbeitenden Industrie /1/

3.1.1 Aufgaben und Eigenschaften von Kühlschmierstoffen

Die Anforderungen des Zerspanungsprozesses (Schnittgeschwindigkeit, Zerspanungsvolumen, zu bearbeitende Werkstoffe) bestimmen die Aufgaben des einzusetzenden KSS. Grundsätzlich lassen sich drei Hauptaufgaben der KSS darstellen:

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

Die Hauptfunktion des Ölanteils im KSS ist die Schmierung, während die Funktion des Wasseranteils vorrangig die Kühlung ist. Bei der Zerspanung werden knapp 70 % der eingesetzten Energie als Zerspanleistung zugeführt, die als Wärme überwiegend in den Spänen sowie auch im Werkstück und im Werkzeug abgeführt wird. Die Schneiden werden also nicht nur mechanisch, sondern auch thermisch beansprucht. Durch die beiden Hauptfunktionen von KSS, Kühlen und Schmieren, werden die thermische und die mechanische Beanspruchung und damit der Verschleiß gleichermaßen verringert und die Werkzeugstandzeiten folglich verlängert.

Daneben bleiben, aufgrund der Wärmeabfuhr aus der Spanbildungszone, günstige Bedingungen bei der Spanbildung erhalten. Dies sowie der geringere Verschleiß ermöglichen daher gleichzeitig hohe Bearbeitungsqualitäten. Die Art des Bearbeitungsprozesses bestimmt, welche Funktion (Kühlen, Schmieren) Priorität hat. Je nach Aufgabenschwerpunkt werden daher wassermischbare oder nichtwassermischbare KSS eingesetzt.

Für die Aufgabe der Reinigung von Werkstück und Werkzeug ist eine gute Spül- und Transportfähigkeit des KSS gefordert. Dafür sind hauptsächlich Druck- und Massenstrom des KSS-Strahles sowie auch die Benetzungsfähigkeit des KSS von Bedeutung.

Neben den genannten Forderungen nach guten technologischen Eigenschaften werden an moderne KSS heute noch weitere Anforderungen bezüglich optimaler Arbeitshygiene, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit gestellt.

Forderungen nach
- möglichst langen Standzeiten der Kühlschmierstoffe sowie
- Wiederverwendungs- und Verwertungsmöglichkeiten verbrauchter Kühlschmierstoffe

kommen daher als wichtige Beurteilungskriterien hinzu.

3.1.2 Gliederung der Kühlschmierstoffarten

Kühlschmierstoffe werden, wie in Abbildung 3-1 schematisch dargestellt, nach ihrer Zusammensetzung eingeteilt.

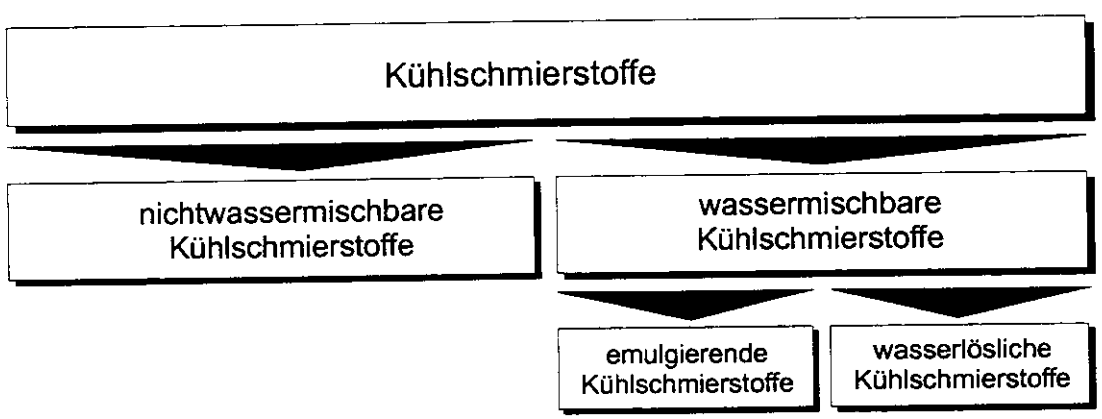


Abbildung 3-1: Gliederung der Kühlschmierstoffe

Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe werden gebrauchsfertig geliefert, wassermischbare KSS in der Regel als Konzentrat, welches vor Gebrauch mit Wasser zum Fertigprodukt angesetzt wird. Ausgangsbasis für die Herstellung von Kühlschmierstoffen können natürliche Öle oder synthetische Stoffe sein.

Nichtwassermischbare KSS (KSS-Öle)
Nichtwassermischbare KSS wie Schneid-, Hon-, Automaten- oder Räumöle zeichnen sich gegenüber wassermischbaren KSS vor allem durch bessere Schmierfähigkeit, höheres Druckaufnahmevermögen sowie längere Standzeiten aus. Als Grundöle werden meist Mineralöle eingesetzt, denen je nach Anwendungsfall unterschiedliche Additive zugesetzt werden.Ein Nachteil nichtwassermischbarer KSS ist ihre Brennbarkeit sowie die Bildung von Ölnebeln oder Qualm bei hohen Temperaturen, die in vielen Fällen eine Kapselung der Maschine mit Absaugung und Abluftreinigung erforderlich machen.

Wassermischbare Kühlschmierstoffe
Wassermischbare Kühlschmierstoffe verbinden das Wärmeabfuhrvermögen von Wasser mit der Schmierfähigkeit von Ölen und haben deshalb gute Kühl- und Schmiereigenschaften. Sie können bei allen Zerspanungsprozessen eingesetzt werden, sofern die verwendete Werkzeugmaschine ein geeignetes Schmiersystem aufweist und die Spindel sowie die Führungsbahnen ausreichend gegen das Eindringen des wasserhaltigen Kühlschmierstoffs abgedichtet sind.

Die gebräuchlichste Form der wassermischbaren KSS ist die Emulsion. Dies ist ein disperses System, das durch vermischen von zwei Flüssigkeiten entsteht, die ineinander nicht löslich sind. Hierbei bildet die eine Flüssigkeit die innere Phase, die sich tröpfchenförmig in der Trägerflüssigkeit verteilt. In der Anwendungsform bestehen KSS-Emulsionen zu 80 % bis über 95 % aus Wasser. Nachteilig bei Emulsionen ist deren Anfälligkeit gegen mikrobielle Zersetzung, die einen wesentlich höheren Pflegeaufwand gegenüber nichtwassermischbaren KSS erfordert und die KSS-Standzeit begrenzt.

Wasserlösliche Kühlschmierstoffe enthalten in der Regel kein Mineralöl und werden daher häufig auch als synthetische Kühlschmierstoffe bezeichnet. Die Hauptbestandteile sind meist Polyalkylenglykole oder ethoxylierte Ester , die mit Wasser eine transparente Lösung bilden. Die Schmierfähigkeit dieser Produkte ist aufgrund ihrer Zusammensetzung begrenzt, dagegen erzielen sie eine sehr gute Kühlwirkung und ermöglichen durch ihre Transparenz die Sichtkontrolle der Bearbeitungsstelle. Die Aggressivität von KSS-Lösungen gegenüber verschiedenen Nichteisenmetallen schränkt deren Einsatzmöglichkeiten ein.

3.2 Vermeidung und Verminderung von Abfällen aus der Metallbe- und -verarbeitung

Die bedeutendsten Ansatzpunkte zur Vermeidung und Verminderung von Abfällen in der Metallbe- und -verarbeitung sind in Abbildung 3-2 dargestellt.

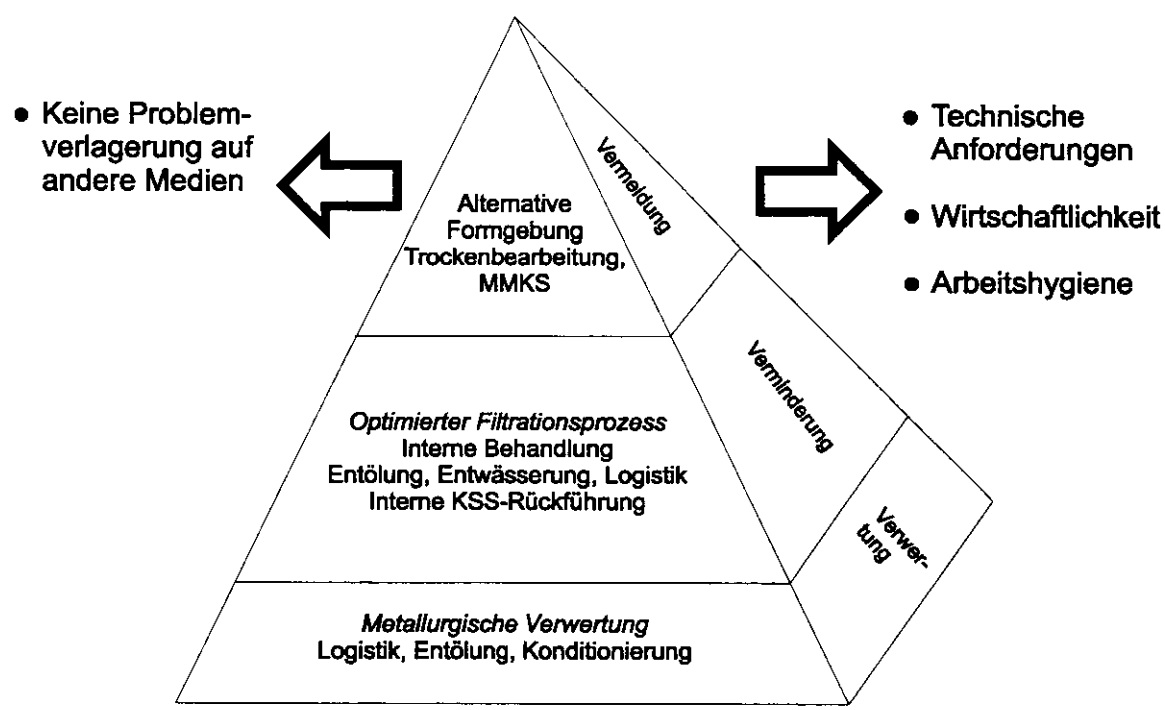


Abbildung 3-2: Hierarchie zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von Abfällen aus der Metallbe- und -verarbeitung /4/

Ein vollständiger Verzicht auf KSS kann bei Zerspanverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide (Dre-

hen, Fräsen, Bohren,...) teilweise schon realisiert werden. Es kann darüber hinaus damit gerechnet werden, dass die Bearbeitung mit diesen Verfahren durch weitere Verbesserung der Schneidstoffe und der Schneidenbeschichtungen zunehmend trocken oder mit Minimalmengenkühlschmierung (MMKS) erfolgen kann /2/.

Eine Vermeidung von Abfällen aus der Metallbe- und -verarbeitung kann ferner durch Substitution von Prozessen mit geometrisch unbestimmter Schneide (Schleifen, Honen, Läppen) durch andere, abfallarme Bearbeitungsverfahren erreicht werden. Beispiele hierfür sind der Einsatz von gebauten Komponenten sowie der Einsatz endkonturnaher Urform- oder Umformverfahren, wie pulvermetallurgische Formgebungsverfahren, Feindruckguß oder Fließpressen, die eine Endbearbeitung mit geometrisch bestimmten Schneiden zulassen.

Bei Zerspanverfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide kann aufgrund des hohen Energieumsatzes in der Kontaktzone zur Zeit nur in Einzelfällen auf KSS verzichtet werden. Um beispielsweise die Schleifbearbeitung trocken durchführen zu können, werden neue Schleifkorn- und Bindungstypen benötigt, mit denen auch bei höheren Temperaturen eine Werkstück- oder Werkzeugbeschädigung vermieden werden kann.

Eine Alternative zum Schleifen mit gebundenem Schleifmittel (Schleifscheibe) sind Schleifmittel auf Unterlage. Diese Werkzeuge werden bei der Herstellung Temperaturen von nur ca. 150° C ausgesetzt. Dadurch ist es möglich, die Bindung der Schleifbänder mit solchen schleifaktiven Zusätzen zu versehen, die bei der Produktion von Schleifscheiben verbrennen würden. Mit diesen schleifaktiven Zusätzen könnten während des Schleifprozesses sowohl die Reibung als auch die Schleiftemperatur gesenkt werden. Ein Verzicht auf Kühlschmierstoffe kommt daher bei Schleifmitteln auf Unterlage eher in Frage.

Bei Zerspanverfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide, insbesondere beim Schleifen, konzentrieren sich die Untersuchungen vor allem auf die Verminderung der anfallenden Mengen an Schleifschlamm. Hierzu wird insbesondere nach wirtschaftlichen Wegen zur Verminderung der hohen Anteile an Wasser und Ölen bzw. ausgetragenem Kühlschmierstoff im Schleifschlamm gesucht. Hierzu muss eine Vorbehandlung des Schleifschlamms erfolgen. Erfolgt die Vorbehandlung innerbetrieblich, sind drei Gesichtspunkte in die Betrachtung einzubeziehen:

- die Reduzierung der zu verwertenden bzw. zu entsorgenden Restmenge des Schleifschlamms,
- die Verbesserung der Verwertungs-/Entsorgungsmöglichkeiten durch reduzierten Ölgehalt des Schleifschlamms sowie
- die Rückgewinnung des Kühlschmierstoffes, insbesondere beim Einsatz nichtwassermischbarer KSS.

3.3 Pflege und Reinigung von Kühlschmierstoffen

Der von der Bearbeitungsstelle kommende KSS ist durch Feststoffe, d.h. durch abgespante Werkstückstoffpartikel und Schleifscheibenabrieb, verschmutzt und durch die beim Bearbeitungsprozess entstandene Wärme in der Regel erwärmt. Da diese Verunreinigungen die Gebrauchseigenschaften des KSS auf Dauer beeinträchtigen, wird der Kühlschmierstoff durch entsprechende Pflegemaßnahmen so aufbereitet, dass er über längere Zeit hinweg im Kreislauf verwendet werden kann, wie dies Abbildung 3-3 schematisch zeigt. Die wichtigste Pflegemaßnahme ist die Reinigung des verschmutzten KSS von den Fremdstoffen.

Weitere wichtig Pflegemaßnahmen sind:
- Kühlung,
- Belüftung,
- Entkeimung,
- Fremdölabtrennung sowie
- regelmäßige Kontrollen.

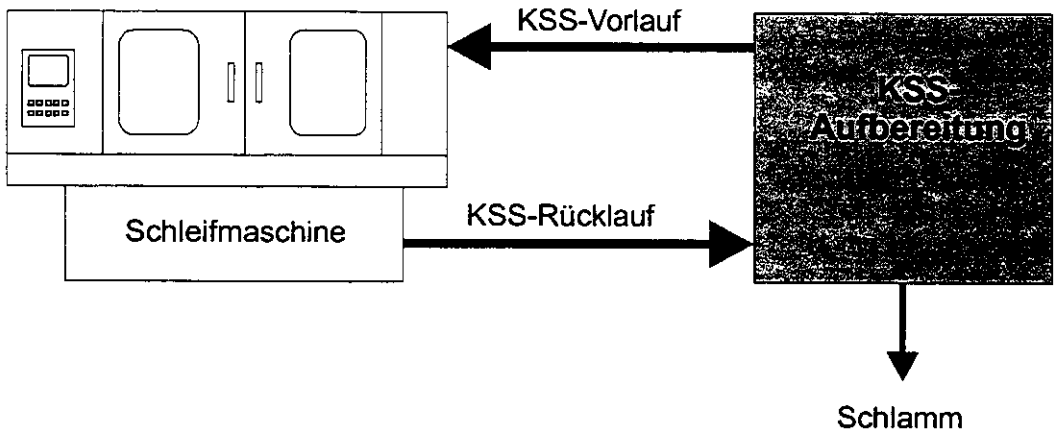


Abbildung 3-3: Der KSS-Kreislauf

3.3.1 Reinigung von Kühlschmierstoffen von festen Fremdstoffen

Die Verfahren zur Reinigung von KSS sind in Tabelle 3-2 dargestellt.

Reinigung von Kühlschmierstoffen					
Sedimentations -abscheider	Magnet-abscheider	Hydro-zyklon	Zentrifuge • mit manueller Feststoffentfernung • mit automatischer Feststoffentfernung	Bandfilter • Schwerkraftbandfilter • Vakuumbandfilter • Druckbandfilter	Anschwemm-filter

Tabelle 3-2: Unterschiedliche mechanische Verfahren zur Reinigung von Kühlschmierstoffen

Die verschiedenen mechanischen Verfahren werden im folgenden kurz beschrieben.

Sedimentationsabscheider

Beim Sedimentationsabscheider /3/ wird die Wirkung der Schwerkraft durch Umlenkung der Kühlschmierflüssigkeit und durch kleine Strömungsgeschwindigkeiten unterstützt. Um einen hohen Wirkungsgrad zu erhalten, muss die Durchlaufzeit des Kühlschmierstoffes möglichst dem Absetzverhalten der Verunreinigungen angepasst sein. Es werden große Mengen an Kühlschmierstoff benötigt. Die heutzutage üblicherweise eingesetzten Sedimentationsbehälter besitzen einen eingebauten automatischen Kratzförderer zum Abtransport der Verunreinigungen vom Behälterboden. Durch Sedimentieren ist lediglich eine grobe Reinigung möglich, daher wird dieses Verfahren nur für untergeordnete Ansprüche und Qualitäten oder meist als Zusatzeinrichtung eingesetzt.

Magnetabscheider
Magnetabscheider (Abbildung 3-4) arbeiten mit starken Elektromagneten, um Abrieb und Späne vom Kühlschmierstoff zu trennen. Es können nur ferromagnetische Partikel erfasst werden. Hauptsächlich werden Magnetabscheider bei Schleifoperationen mit sehr hohem Schlammanfall zur Vorreinigung, z.B. vor Zentrifugalabscheidern oder Bandfilteranlagen, eingesetzt /3/.

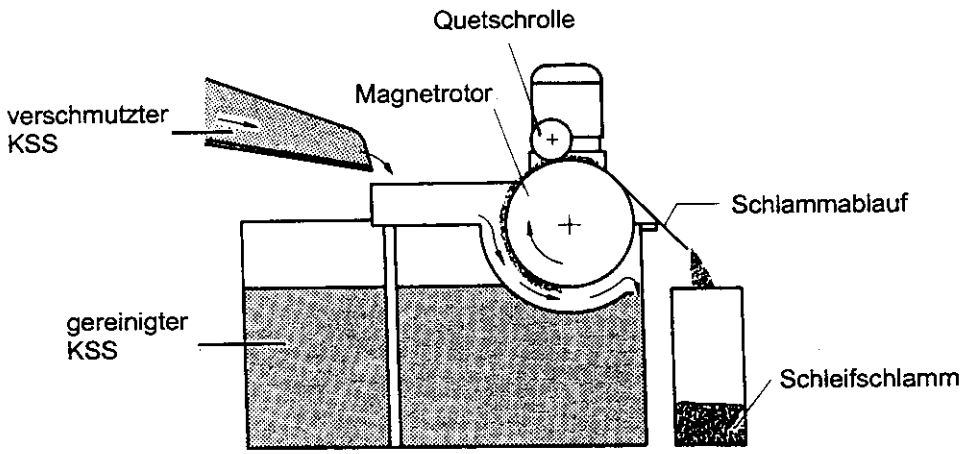


Abbildung 3-4: Magnetabscheider

Hydrozyklon
Beim Hydrozyklon tritt der verschmutzte KSS tangential ein. Durch die entstehende Rotationsströmung werden die Feststoffe nach außen gedrückt und gelangen in einer Wirbelströmung nach unten. Dort werden sie an einer Düse ausgeschieden. In einer sogenannten Sekundärwirbelströmung gelangt der gereinigte KSS in den zentrischen Oberlauf.

Hydrozyklone sind sehr kompakt und haben keine beweglichen Teile. Die Unterlaufdüse unterliegt jedoch einem gewissen Verschleiß. Bei Emulsionen kann es aufgrund der hohen Turbulenzen zu Problemen kommen. Der verbleibende Schlamm ist noch sehr dünnflüssig und muss nachbehandelt werden /4/.

Zentrifuge
Zentrifugen arbeiten nach dem Prinzip der Schwerkrafttrennung durch Erzeugung von Fliehkräften mittels Rotation. Die zu reinigende Flüssigkeit gelangt über einen Zulauf in die Trommel der Zentrifuge und steigt in dieser hoch. Eine Schälscheibe führt die gereinigte Flüssigkeit aus der Zentrifuge ab. Die Feststoffe, die ein höheres spezifisches Gewicht haben lagern sich aufgrund der hohen Zentrifugalkraft an der Innenwand der Trommel ab. Über Auslassöffnungen und die Schälscheibe verlässt der gereinigte Kühlschmierstoff unter Druck das Ablaufrohr. Vor dem Austragen der Feststoffe wird der Zulauf abgestellt und die Restflüssigkeit in der Trommel verlässt über geöffnete Ventile die Trommel und gelangt wieder in den Zulaufbehälter. Die Feststoffe werden anschließend trocken geschleudert und durch Austragsschaufeln automatisch ausgetragen /3/.

Um bei der Fest-/Flüssigtrennung durch Fliehkraft zufriedenstellende Reinigungsergebnisse erzielen zu können, müssen die verschmutzten Flüssigkeiten eine ausreichend lange Zeit bei sehr hohen Beschleunigungswerten zentrifugiert werden. Dies erfordert sehr groß dimensionierte Anlagen mit sehr hohen Antriebsleistungen. Kleinere Zentrifugen können dagegen nur zur Bypassreinigung eingesetzt werden. Durch die hohen mechanischen Kräfte beim Zentrifugieren wird der KSS-Alterungsprozess beschleunigt.

Dies gilt vor allem bei hochlegierten Flüssigkeiten. Die hohe Wärmeeinbringung in die Flüssigkeit durch die Zentrifugen ist ein weiterer Schwachpunkt dieser Technologie. Wird mit vollautomatischen Zentrifugen gearbeitet, d.h. die Schlammbehälter müssen nicht manuell entleert werden, kann bei langer Schleuderdauer (die wiederum notwendig ist um ausreichende Reinigungsqualitäten zu erreichen) insbesondere bei sehr feinen Verunreinigungen eine hohe Verdichtung des Schlamms in der Trommel eintreten. Die innenliegenden Schlammschichten werden dann nicht mehr genügend entfeuchtet und der automatische Austragsprozess wird behindert oder dauert unverhältnismäßig lange. Mit steigender Flüssigkeitsviskosität wird die Fest-/Flüssigtrennung immer schwieriger.

Es bestehen drei Möglichkeiten zum innerbetrieblichen Zentrifugeneinsatz:

- Bei kleinen Mengen bietet sich eine Zentrifugentrommel nach einer Filteranlage an. Die Zentrifugentrommel wird im sog. Batch-Verfahren (manuell) beschickt. Bei zwei Schleudervorgängen bei 15 000 U/min können etwa 100 kg Schlamm pro Stunde behandelt werden.
- Der Filterrückstand wird über eine automatische Schleifschlammentfeuchtung geführt. Eine automatische Förderung arbeitet direkt in eine kontinuierliche Durchlaufzentrifuge mit selbständigem Austrag.
- Anstelle einer Filteranlage kann eine Reinigungszentrifuge (Dekanterzentrifuge) für den Schleifölstrom installiert werden.

Bandfilter

Ein sehr verbreitetes Reinigungsverfahren ist die Reinigung durch Bandfilter. Hierbei unterscheidet man zwischen Schwerkraft-, Vakuum- und Druckbandfilter (Abbildung 3-5). Es wird Papier, Faservlies oder Gewebe als Filtermittel eingesetzt. Die Filterwirkung dieser Materialien hält beim Durchlaufen der verschmutzten KSS die Feststoffe zurück, die sich als Schicht auf dem Filtermittel ablagern. Der Filterkuchen übernimmt dann die eigentliche Filterwirkung und hält mit fortschreitender Zeit immer feinere Teilchen zurück. Die ursprüngliche Porenweite des Filtermaterials wird laufend verringert und der Filtrationsgrad steigt mit abnehmendem Durchlassvermögen des Filters bzw. mit der Zunahme des Filterkuchens /3/.

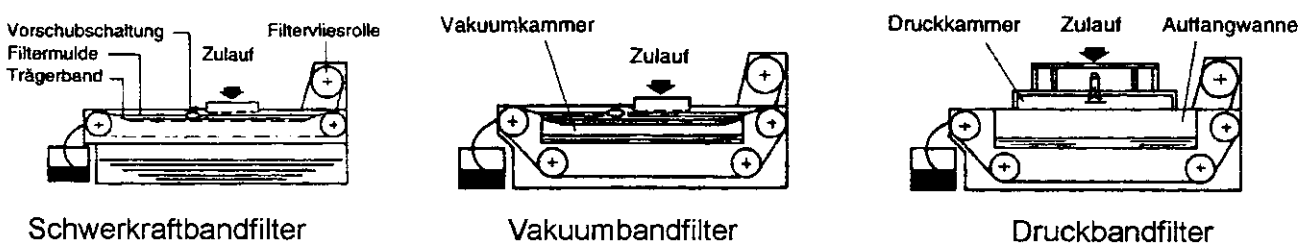


Abbildung 3-5: Funktionsprinzipien unterschiedlicher Bandfilter

Probleme hinsichtlich der Reinigungsqualität, die eine Grenzpartikelgöße von unter 20 bis 50 µm nicht zuläßt, und des Filterbandverbrauchs treten insbesondere bei hohem Volumenstrom des Kühlschmierstoffes sowie bei hohem Schlammanfall auf. Auch die relativ hohe Viskosität der üblicherweise verwendeten Schleiföle erschweren die Filtration.

Bei fortschreitender Filtrationsdauer nimmt das Durchlaßvermögen des Filterkuchens ab und führt zu einer erheblichen Verringerung der möglichen Durchflußmenge. Die reduzierte Durchflußmenge bewirkt, daß sich die Flüssigkeit auf dem Filtervlies staut, wodurch dieses schwimmergesteuert weiter transportiert wird.

Die Wirkungsweise des Bandfilters läßt sich in Bezug auf die Durchflußleistung erhöhen, indem der Filtrationsvorgang mit Vakuum oder Druck unterstützt wird. Druckbandfilter werden aufgrund ihrer geringeren Anschaffungskosten im Vergleich zu Zentrifugen oder den nachfolgend beschriebenen Anschwemmfiltern häufiger verwendet.

Da bei Druckbandfiltern mit Differenzdrücken von 1...2 bar gearbeitet wird, lassen sich Schleiföle mit relativ hohen Volumenströmen filtrieren. Durch den Differenzdruck werden allerdings zunächst große Feststoffpartikel durch den Filter gepreßt, so daß bis zum Aufbau einer relativ hohen Filterkuchendicke eine schlechte Filtrierqualität mit Feststoffpartikelgrößen von ca. 50µm in Kauf genommen werden muß. Je dicker der Filterkuchen, desto besser ist die Reinigung des KSS.

Sind die Partikel sehr fein, wird sehr schnell eine hohe Reinigungsqualität erreicht. Jedoch steigt dadurch der Filterbandbedarf stark an und hohe Entsorgungskosten entstehen. Bei groben Verschmutzungen dagegen baut sich der Filterkuchen sehr langsam auf. Dadurch wird bis zum Erreichen der notwendigen Kühlschmierstoffreinheit viel Zeit benötigt. Papierbandfilter eignen sich also vorwiegend für Reinigungsprozesse mit kleinen Feststoffmengen und immer gleichbleibenden Verunreinigungen.

Anschwemmfilter

Anschwemmfiltration ist ein Verfahren, bei dem Filterhilfsstoffe als Anschwemmschicht an sog. Filterkerzen anfiltriert werden, bevor das verunreinigte Medium zuläuft. Abbildung 3-6 zeigt schematisch eine Anschwemmfilteranlage /3 /.

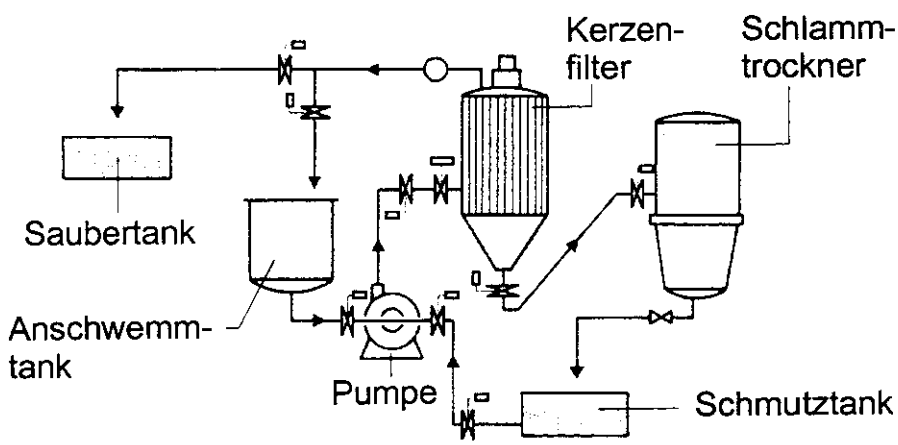
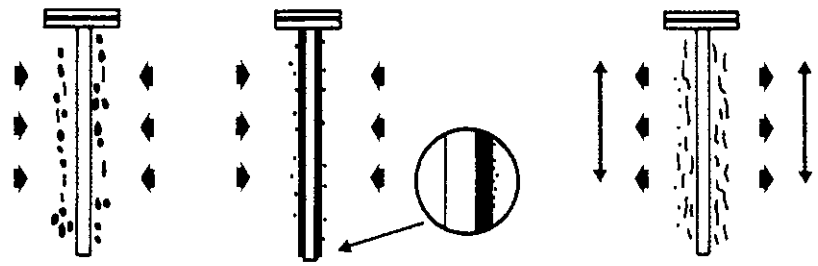


Abbildung 3-6: Flußdiagramm einer Anschwemmfilteranlage

In der Industrie wird bisher hauptsächlich Kieselgur als Filterhilfsmittel eingesetzt. Dessen feine Porenstruktur ermöglicht die Erzielung einer hohen Filtriergüte bei welcher noch Partikel von 1...5 µm erfaßt werden können. Die Anschwemmfiltration besteht üblicherweise aus vier Phasen, nämlich Anschwemmen, Filtrieren, Transferieren und Trocknen (Abbildungen 3-7 und 3-8). In der Anschwemmphase wird das Filterhilfsmittel auf die Filterkerzen aufgebracht und bildet dort den Filterkuchen. Die Verknüpfung von großer Filterfläche mit extrem feinporigem Filterhilfsmittel ermöglicht die Filtration von KSS mit hohem Volumenstrom und Feststoffanteil.



1. Anschwemmphase

Das Filterhilfsmittel wird auf die elastischen Filterkerzen aufgebracht und bildet dort den Filterkuchen.

2. Filtrieren

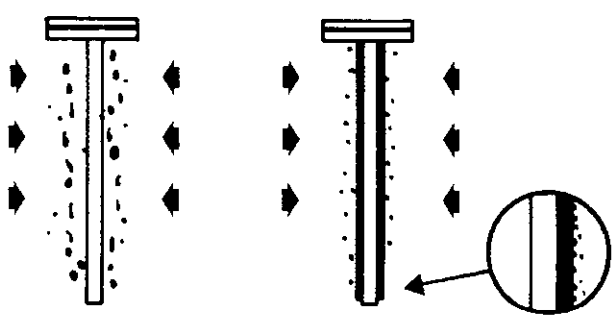
Die in der Flüssigkeit enthaltenen Feststoffe lagern sich auf der Oberfläche des Filterkuchens ab.

3. "Bump"-Zyklus

Filterkuchen und Verunreinigungen werden von den Filterkerzen abgeschlagen

Abbildung 3-7: Anschwemm-, Filter- und Bumpphase

Nach Beendigung der Anschwemmphase beginnt die Filtrierphase. Die in der Flüssigkeit enthaltenen Feststoffe lagern sich dabei auf der Oberfläche des Filterkuchens ab. Die Filtrierphase dauert so lange, bis der Differenzdruck die wirtschaftliche Grenze übersteigt oder die Belastungsgrenze der Filterkerzen erreicht ist. Anschließend beginnt die Transferphase, nach der eine neue Filterhilfsmittelcharge angeschwemmt werden muß (Abbildung 3-7, Phase 3). In diesem sogenannten "Bump-Zyklus" werden Filterkuchen und Verunreinigungen von den Filterkerzen abgeschlagen und danach wieder angeschwemmt (Abbildung 3-8, Phase 4). Hierdurch findet eine Umschichtung des Filterhilfsmittels und der Verunreinigung statt, was zu einer weiteren Durchlässigkeit des Filterkuchens führt. Dieser Vorgang kann bei Hochleistungsfilteranlagen bis zu viermal wiederholt werden.



4. Wieder-Anschwemmen

Der abgeschlagene Filterkuchen wird erneut angeschwemmt. Dadurch findet eine Regenerierung des Kuchens statt.
Der Filtervorgang wird fortgesetzt

Abbildung 3-8: Wiederanschwemmung nach „Bump-Zyklus"

Wenn die Aufnahmekapazität des Filters erschöpft ist, wird der Filterkuchen von den Kerzen letztmalig abgeschlagen, in den Schlammauffangbehälter transferiert und dort getrocknet. Das Trocknen findet unter Luftdruck statt, so daß das im Schlamm befindliche Schleiföl bis auf einen Restölanteil von ca. 20 % abgeschieden und in den Schmutzbehälter zurückgeführt wird. Die getrockneten Schleifspäne werden anschließend entsorgt. Der Filterhilfsmittelanteil im getrockneten Schlamm beträgt max. 9 % /3/.

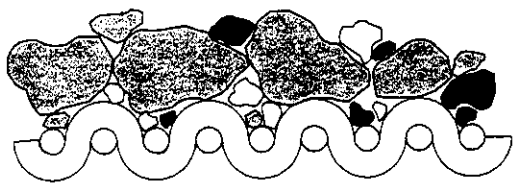
Aufgrund von Entsorgungs- und Gesundheitsproblemen wird in letzter Zeit immer mehr nach alternativen Filterhilfsmitteln gesucht. Kieselgur steht wegen seiner kristallinen Struktur im Verdacht, beim Einatmen gesundheitsschädlich zu sein.

3.3.2 Reinigung ohne Filterhilfsmittel

Seit einiger Zeit werden von verschiedenen Herstellern neben Zentrifugen, Hydrozyklonen oder Magnetabscheidern noch andere filterhilfsmittelfreie Anlagen zur KSS-Reinigung angeboten. Insbesondere Umlauf-Bandfilter mit rückspülbaren Kunststoff- oder Edelstahlbändern erscheinen immer häufiger am Markt. Diese Systeme arbeiten meist mit der Vakuumtechnologie, d.h., daß der KSS durch ein Vakuum auf der Gegenüberliegenden Filterseite angesaugt wird. Die Filtermedien müssen in einem bestimmten Zyklus abgekratzt werden. Da hierbei Kleinstpartikel nicht erfaßt werden, muß nach dem Abkratzen mit gereinigter Flüssigkeit nachgespült oder mit Druckluft abgeblasen werden (Abbildung 3-9).

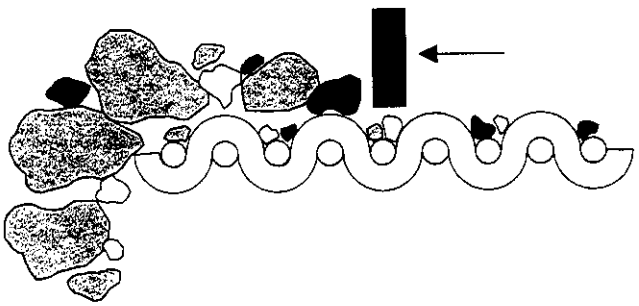
Phase 1

Der KSS wird unter Vakuum durch den Fiter angesaugt. Die Schmutzpartikel lagern sich auf dem Gewebe ab und bilden einen Filterkuchen



Phase 2

In zeitlichen Abständen muß der Filterkuchen abgenommen werden. Dies geschieht durch Abkratzen. Kleinstpartikel in den Filterzwischenräumen werden hierbei nicht erfaßt und verstopfen den Filter



Phase 3

Um die Kleinstpartikel zu entfernen muß mit gereinigtem KSS gespült, oder mit Luft abgeblasen werden. Die Partikel verbleiben so im Kreislauf. Die Folge ist eine Anhäufung von Kleinstpartikeln im KSS.

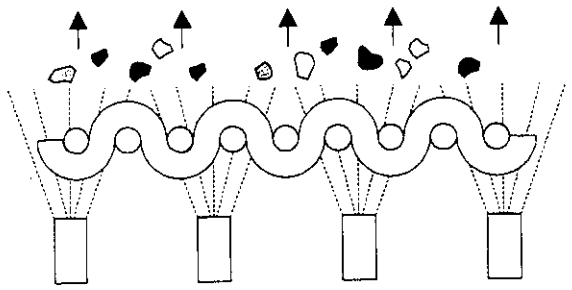


Abbildung 3-9: Bisheriges Prinzip rückspülbarer Umlauf- oder Rotationsbandfilter

Zusammenfassend sind in Tabelle 3-3 die oben beschriebenen Verfahren wiedergegeben. Aus der Tabelle wird ersichtlich, daß keines der Verfahren für alle Einsatzfälle optimal ist.

	Erreichbarer Trenngrad	Restfeuchte im Schlamm	KSS-Art Öl	Em.	Lsg.	Investitons-kosten	Energie-bedarf	Gräusch-entwicklung	Platz-bedarf
Sedimentationsabscheider	20-100 µm	mittel	x	x	x	gering	Gering	gering	hoch
Magnetabscheider	20-50 µm	mittel	x	x	x	mittel	Mittel	gering	mittel
Hydrozyklon	10-30 µm	hoch		x	x	gering	Mittel	hoch	mittel
Zentrifuge	5-30 µm	mittel	x	x	x	hoch	Hoch	hoch	mittel
Schwerkraftbandfilter	40-100 µm	mittel	x	x	x	mittel	Gering	gering	gering
Druckbandfilter	30-100 µm	gering	x	x	x	hoch	Mittel	gering	mittel
Vakuumbandfilter	30-100 µm	gering	x	x	x	hoch	Mittel	gering	mittel
Anschwemmfilter	2-10 µm	mittel	(x)	x	x	hoch	Gering	gering	hoch

Tabelle 3-3: Zusammenfassung der Reinigungsverfahren

So weisen zwar einige Verfahren gute bzw. sehr gute Reinigungsqualitäten (Trenngrad und Restfeuchte) auf, sind jedoch mit Nachteilen verbunden, wie z.B. mit hohen erforderlichen Investitionen. Außerdem werden beispielsweise bei Bandfiltern und Anschwemmfiltern Filterhilfsmittel benötigt, die die weitere Verwertung der Schlämme erschweren oder unmöglich machen. Aufgrund des erreichbaren Trennungsgrades und der Restfeuchte im Schlamm eignen sich Sedimentationsabscheider, Magnetabscheider und Hydrozyklone nur als Vorstufe.

3.4 Kriterien für die Auswahl von Reinigungsverfahren

3.4.1 Anlagen zur Einzelversorgung und Zentralanlagen

Generell teilt man KSS-Aufbereitungsanlagen ein in:

- Anlagen zur Einzelversorgung oder
- Zentralanlagen.

Bei der Einzelversorgung erhält jede Schleifmaschine eine KSS-Aufbereitungsanlage, wie in Abbildung 3-10 schematisch dargestellt. Diese Anordnung ist in der Regel dann sinnvoll, wenn nur wenige Werkzeugmaschinen im Einsatz sind. Die wichtigsten Vor- und Nachteile der Einzelversorgung sind in Tabelle 3-4 zusammengefaßt.

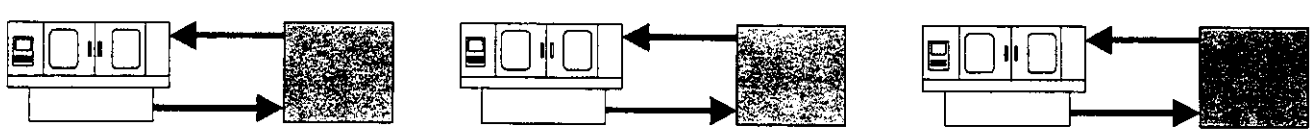


Abbildung 3-10: KSS-Einzelversorgung

Vorteile	Nachteile
- geringer Verrohrungsaufwand - bei Störung einer KSS-Anlage fällt nur eine Werkzeugmaschine aus - hohe Flexibilität	- hoher manueller Pflegeaufwand - höhere Stillstandszeiten durch häufigen KSS-Wechsel - schlechtere Schlammeigenschaften - Schlamm fällt an vielen Stellen an

Tabelle 3-4: Vor- und Nachteile der Einzelversorgung

Bei der Zentralanlage (Zentralversorgung) wird der KSS mehrerer Werkzeugmaschinen über eine Anlage aufbereitet (Abbildung 3-11). Dies ist besonders beim Einsatz von mehreren gleichartigen Maschinen sinnvoll, setzt aber voraus, daß in allen Werkzeugmaschinen derselbe Kühlschmierstoff verwendet wird. Die wichtigsten Vor- und Nachteile der Zentralversorgung sind in Tabelle 3-5 dargestellt.

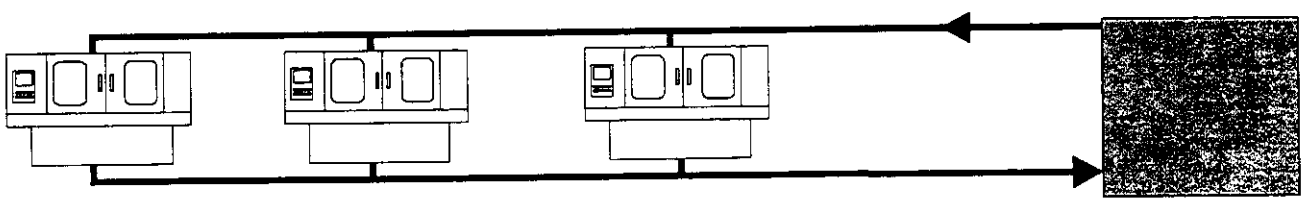


Abbildung 3-11: KSS-Zentralversorgung

Vorteile	Nachteile
- geringer manueller Pflegeaufwand - geringere Stillstandszeiten durch seltenen KSS-Wechsel - 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, da nur ein KSS im Kreislauf

Tabelle 3-5: Vor- und Nachteile einer Zentralversorgung

3.4.2 Auswahlkriterien

Herkömmliche Kühlschmierstoffreinigungsanlagen können den mittlerweile hohen Anforderungen oft nicht mehr gerecht werden. Typische Problemstellungen, die bei herkömmlichen Kühlschmierstoffanlagen auftreten, sind:

- die Reinigungsqualität ist für bestimmte Bearbeitungsverfahren unzureichend,
- der Kühlschmierstoff erwärmt sich unzulässig,
- die Anlagen benötigen zu viel Energie,
- die zu entsorgenden Schlämme weisen eine hohe Restfeuchte sowie einen hohen Filterhilfsmittelanteil auf,
- der Wartungsaufwand der Anlage ist hoch,
- die Geräuschentwicklung der Anlage ist groß.

Eines der wichtigsten Kriterien stellt die kleinste bei der Reinigung erfaßbare Partikelgröße dar. Die zunehmenden Schnittgeschwindigkeiten bzw. Zeitspanungsvolumina erfordern eine hohe Reinheit des Öls. Unter-

suchungen bei Schleifanwendungen haben gezeigt, daß eine Verbesserung der Reinigung bis auf maximal 5 µm Partikelgröße zu deutlichen Steigerungen der Schleifscheibenstandzeit bei gleichzeitiger Verbesserung der Oberflächengüte geführt hat. Hohe Reinigungsqualität ist auch unter dem Gesichtspunkt Anlagenverschleißes wichtig. Bei hohen Drücken (60...100 bar), welche üblicherweise zur Schleifscheibenreinigung benötigt werden, wird die Schleifscheibenoberfläche durch größere Partikel stärker erosiv angegriffen. Dies betrifft in gleicher Weise Düsen und Pumpen.

3.5 Weiterbehandlung der Schleifschlämme

Um die Schleifschlämme in Gießereien und Stahlwerken metallurgisch verwerten zu können, müssen sie auf einen möglichst niedrigen Ölgehalt gebracht werden. In Tabelle 3-6 sind die wichtigsten Verfahren zu Vorbehandlung von Schleifschlämmen als Vorstufe zur metallurgischen Verwertung dargestellt.

Verfahren zur Vorbehandlung von Schleifschlämmen als Vorstufe zur Verwertung	
Verfahren	**Stand**
Wäsche mit wässrigen Medien	Verschiedene Pilotanlagen in der Erprobung; ca. 0,5 t/h Batchbetrieb; Zentrale Anlage
Wäsche mit Lösemitteln	Verschiedene Pilotanlagen in der Erprobung; 10 kg/h bis 100 kg/h Batchbetrieb; Zentrale und dezentrale Anlage
Ausbrennen der organischen Bestandteile	Drehrohr mit 2 t/h im kontinuierlichen Betrieb; 4 Jahre Produktionsbetrieb mit Walzzunderschlämmen; Nur als zentrale Anlage
Vakuumverdampfung der Ölphase im Scheibentrockner mit konduktiver Beheizung	Pilotanlage für innerbetrieblichen und zentralen Einsatz verfügbar; Chargenbetrieb: 50 kg bis 10 t
Extraktion mit überkritischen Medien (CO_2)	Versuche im Labor und Pilotmaßstab (4 und 250 kg); Chargenbetrieb; Primär als zentrale Anlage geeignet
Brikettieren, Späne mit Schleifschlämmen	Produktionsanlage mit 20.000 t/a seit 4 Jahren in Betrieb; Weitere Anlagen in der Erprobung

Tabelle 3-6: Vorbehandlung der Schleifschlämme als Vorstufe zur Verwertung /1/

Die getrockneten Schlämme liegen nach der Vorbehandlung pulverförmig vor. Zur Einbringung in den Metallherstellungsprozeß muß das feinkörnige Material stückig gemacht werden, da es sonst über die Abluft ausgetragen würde. Aus diesem Grund werden die Schleifschlammpulver zu Briketts verarbeitet, meist vermischt mit Spänen, die als Bindemittel dienen. Voraussetzung für die Brikettierung ist, daß das Material frei von Filterhilfsmittel ist. Das bedeutet, daß insbesondere Schlämme aus der Anschwemmfiltration und der Filtration durch Bandfilter mit Papier, Vlies oder Gewebe nicht brikettiert werden können.

Die Forderung nach einer hohen Reinigungsqualität der KSS-Anlage einerseits und einer guten metallurgischen Verwertbarkeit des Schleifschlamms andererseits können folglich viele der derzeit eingesetzten Anlagen nicht erfüllen.
Insbesondere scheiden gerade diejenigen Verfahren mit den besten KSS-Reinigungsqualitäten, das sind Druck- oder Vakuumbandfilter sowie insbesondere Anschwemmfilter, Schleifschlämme ab, die aufgrund stofflicher Beimengungen meist nicht metallurgisch verwertet werden können. Lediglich rückspülbare Um-

lauf- oder Rotationsbandfilter kommen für diese Anforderungen in Frage, weisen jedoch aufgrund der Anreicherung von Kleinstpartikeln bezüglich der Standzeit des KSS Nachteile auf.

4 Zielsetzung

Wie bereits ausgeführt, arbeiten viele Betriebe der Metallbe- und -verarbeitung mit KSS-Reinigungsanlagen mit unzureichender Reinigungsqualität. Vielfach sind bei Schleifprozessen nur einfache Filter oder Zentrifugen im Einsatz, die einen schlechten Trennungsgrad und eine hohe Restfeuchte des Schleifschlamms erzielen. Besonders bei Hochleistungskühlschmierstoffen sind die Ergebnisse bezüglich

- Produktionsoptimierung,
- Wirtschaftlichkeit sowie
- Umweltschutz

daher häufig unzureichend. Dies führt zu erheblichen Aufwendungen aufgrund zusätzlichen Kühlschmierstoffbedarfs, zusätzlichen Entsorgungskosten und Wartungsarbeiten und somit zu erhöhten Kosten.

Hieraus ergibt sich die Zielsetzung des Projektes. Diese kann in folgende Teilziele, welche miteinander verknüpft sind, unterteilt werden:

- Entwicklung einer KSS-Reinigungsanlage, die die Standzeit des KSS erhöht, und
- Entwicklung einer möglichst abfallarmen Reinigungstechnologie, d.h. Verzicht auf Einwegfilterhilfsmittel und verminderte KSS-Austragsverluste.

Die im Folgenden beschriebene, neu entwickelte Anlage wurde bei der Firma Wahl Verzahntechnik in Balingen-Engstlatt in die laufende Produktion integriert, um zu testen, ob die Zielsetzungen und somit die technischen und wirtschaftlichen Anforderungen erfüllt werden.

Durch den Einsatz der neuen Reinigungstechnik soll bei der Firma Wahl

- die Standzeit des KSS erhöht und der Verbrauch von KSS gleichzeitig gesenkt werden,
- der Austrag von KSS durch den Schleifschlamm minimiert und hinsichtlich der Abfallmenge reduziert werden,
- die Produktionskapazität verbessert werden und
- der Wartungs- und Bedienungsaufwand im Vergleich zum bisherigen Verfahren minimiert werden.

5 Filterhilsmittelfreie Reinigungstechnologie

5.1 Ausgangslage beim Modellbetrieb

Der Modellbetrieb, die Firma Wahl Verzahntechnik (Abbildung 5-1), ist ein mittelständisches Familienunternehmen in Balingen-Engstlatt mit 25 Mitarbeitern. Schon in der 2. Generation befaßt sich die Firma mit der Zahnradfertigung, speziell mit Zahnrädern, Zahnstangen, Kettenrädern und Zahnriemenantrieben mit den Modulen 0,8 bis 10 bei einem Durchmesser von 400 mm. Die eingesetzten Bearbeitungsverfahren sind Wälzfräsen und -stoßen, Wälzschleifen und Formschleifen.

Abbildung 5-1: Firma Wahl

Bei der Schleifbearbeitung kamen bisher drei Zahnflankenschleifmaschinen zum Einsatz. Die Versorgung der Maschinen mit KSS erfolgte durch Einzelversorgung, d.h. jede Maschine hatte einen eigenen separaten KSS-Kreislauf mit 800 l Öl pro Maschine. Zur Reinigung des KSS wurden zwei Verfahren eingesetzt. Zum einen wurden durch Sedimentation die groben Metallspäne aus dem KSS entfernt, zum anderen wurde in regelmäßigen Zeitabständen der KSS mit Hilfe einer Zentrifuge gereinigt.

Diese Art der Reinigung des KSS war für die Firma Wahl nicht wirtschaftlich, insbesondere traten folgende Probleme auf:

- der Ölaustrag durch den Schlamm war zu hoch,
- durch die geringe Menge von 800 l KSS pro Maschine waren die Umlaufzeiten sehr gering,
- dadurch waren Kühlung und Reinigung des KSS unzureichend,
- durch die unzureichende Kühlleistung stieg die Temperatur des KSS und in dessen Folge die Temperatur der Werkstücke an,
- durch die unzureichende Reinigung waren die Maschinenstillstandszeiten zu lang, da, insbesondere bei großen Abtragsmengen, die Zentrifugen zu oft entleert werden mußten,
- mit dem Schleifen konnte erst 90 min nach Arbeitsbeginn begonnen werden, da diese Zeit für das Entleeren der Zentrifugen notwendig war,

- weiter bedeutete das manuelle Entleeren eine unzumutbare Schmutzbelästigung für die Arbeiter.

Aufgrund dieser Probleme mußten vor Beginn des Projekts erhebliche wirtschaftliche Nachteile in Kauf genommen werden. Hierbei sind insbesondere folgende Punkte zu nennen:

- der KSS mußte ein bis zweimal pro Jahr ausgetauscht werden, da er aufgrund der schlechten Reinigung zu schnell alterte,
- es mußte laufend KSS aufgefüllt werden, da der KSS-Austrag im Schleifschlamm zu hoch war,
- es mußten Qualitätsprobleme in Form von unzureichenden Schleifergebnissen in Kauf genommen werden oder es mußte nachbearbeitet werden.

Ausgehend von der unzureichenden Leistung und der unkomfortablen Bedienung der bisher bei der Firma Wahl vorhandenen Systeme wurde die Kaufentscheidung für eine neue KSS-Reinigungsanlage getroffen. Wichtige Auswahlfaktoren für die neue Anlage waren:

- filterhilfsmittelfreie Reinigungstechnik mit einer für den Schleifprozeß ausreichenden Reinigung des KSS,
- deutliche Reduzierung des Restölgehalts im Schleifschlamm,
- Standzeitverlängerung des KSS durch Reinigung auch von Kleinstpartikeln mit einer Größe von wenigen µm sowie
- vollautomatisches System.

Entsprechend dieser qualitativen Vorgaben wurde von der Firma Uwe Gutsche Engineering eine neue Reinigungsanlage konzipiert.

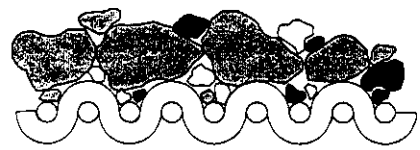
5.2 Neues KSS-Druckfiltersystem

Wie in Kap. 3.3.2 beschrieben, werden bei den bisher bekannten Prinzipien von filterhilfsmittelfreien Band- oder Rotationsfiltersystemen die Schleifschlämme durch Abkratzen oder Umlenken des Filterbands abgenommen. Nach dieser mechanischen Reinigung müssen die Filter mit Flüssigkeit oder Preßluft von Kleinstpartikeln gereinigt werden.

Beim neu entwickelten Verfahren werden die auf der Filteroberfläche angelagerten Schmutzpartikel durch ein Vakuumreinigungsmodul von der Filteroberfläche abgesaugt. Durch den Absaugvorgang werden auch die sehr feinen Partikel, die sich in den Zwischenräumen des Filtergewebes eingelagert haben, entfernt. Abbildung 5-2 zeigt das Prinzip der Reinigung. Da es sich um ein Druckfiltersystem handelt, ist die Trennung der Festpartikel von der Flüssigkeit sehr gut und es können auch sehr feine Schmutzpartikel filtriert werden.

Phase 1

Der KSS wird unter Druck durch den Filter gepreßt. Die Schmutzpartikel lagern sich auf dem Gewebe ab und bilden einen Filterkuchen



Phase 2

Das Vakuumreinigungsmodul wird berührungslos auf den Filter aufgesetzt. Eine Schädigung des Filters ist somit ausgeschlossen.

Durch das Vakuum werden nun alle Schmutzpartikel vom Filtergewebe abgesaugt. Kleinstpartikel werden hierbei ebenfalls erfaßt und in einem Arbeitsgang entfernt.

Die Schmutzpartikel werden in eine separaten Behälter abgeführt. Ein Rückspülen mit Flüssigkeit oder Preßluft entfällt. Eine Anreicherung oder Übersättigung der Flüssigkeit im Schmutztank ist nicht möglich.

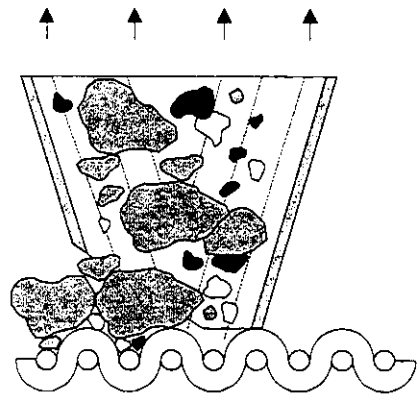


Abbildung 5-2: Reinigungszyklus mit dem neu entwickelten Filtersystem

5.3 Beschreibung der Anlage

Die neu entwickelte Anlage besteht aus einem Schmutztank, einer Einheit mit Filterzylindern und einem Reintank. Der vom Bearbeitungsprozeß kommende KSS wird in den Schmutztank geleitet, von wo er unter Druck in die Filterzylinder gepumpt wird. Der im Filterzylinder gereinigte KSS fließt in den Reintank und wird von dort, je nach Bedarf, dem Prozeß erneut zugeführt. Das Anlagenkonzept basiert auf dem Prinzip der Druckfiltration /5/, das mit hohen Differenzdrücken Δp arbeitet, die das 40- bis 50-fache eines Vakuumfiltrationssystems betragen können.

Die im Modellbetrieb installierte Anlage versorgt drei Zahnradschleifmaschinen mit Kühlschmierstoff. Jede Maschine ist über eine separate Pumpe mit dem Reintank der Anlage verbunden. Der Rücklauf des verschmutzten KSS zur Reinigungsanlage erfolgt drucklos in den Schmutztank. Da die Reinigung des KSS im Hauptstrom erfolgt, stellt die Anlagensteuerung sicher, daß im Reintank immer genügend sauberes Öl zur Verfügung steht. An die Filterzylinder ist ein Vakuumreinigungsmodul angeschlossen, das in frei wählbaren Zeitintervallen die auf dem Filtermedium angelagerten Schmutzpartikel nach dem in Kapitel 5.2 beschriebenen Prinzip absaugt. Durch geeignete Wahl der Zeitintervalle kann eine zu starke Abnahme des Durchflusses ausgeschlossen werden. Durch Verwendung eines zweiten Zylinders ist ein konstanter Betrieb der Anlage gewährleistet, da jeweils nur ein Filter gereinigt wird. Der vom Filter abgenommene Schleifschlamm wird einer Presse zugeführt, in welcher der Schleifschlamm auf einen Restölgehalt von ca. 13 % gepreßt wird. Das ausgepreßte Öl wird dem Schmutztank wieder zugeführt. Der gepreßte Schlamm wird in Pelletform ausgegeben und kann entsorgt werden. Aus den Pellets tritt kein Öl mehr aus, wodurch sich deren Handling und Lagerung erheblich vereinfachen.

Die Anlage ist in Abbildung 5-3 dargestellt. Deutlich erkennbar sind die zylindrischen Filterkammern, die senkrecht über dem Reintank und dem Schmutztank angeordnet sind.

Abbildung 5-3: KSS-Reinigungsanlage

5.3.1 Filterzylinder

Der verschmutzte KSS wird unter hohem Druck radial durch eine Filtertrommel gefördert, die mit einem Filtergewebe belegt ist. In bestimmten Zeitintervallen, die durch die Stärke des Filterkuchens bestimmt sind, wird dieser durch ein axial bewegliches Reinigungsmodul abgesaugt. Dabei führt die Filtertrommel gleichzeitig eine Drehbewegung aus. Durch einen speziell entwickelten Schnellverschluß kann dazu die Filterkammer dazu automatisch geöffnet werden. Durch die Konstruktion des Filterzylinders erfolgt das Abnehmen des Filterkuchens ohne Berührung (vergl. Kapitel 5.2). Somit können als Filtermedium auch sehr feine und filigrane Gewebe eingesetzt werden, da sie keinerlei mechanischer Beanspruchung durch Umlenkung oder Abkratzen ausgesetzt sind. Abbildung 5-4 zeigt das Schema des Filtersystems mit Filtrierphase und Reinigungsphase.

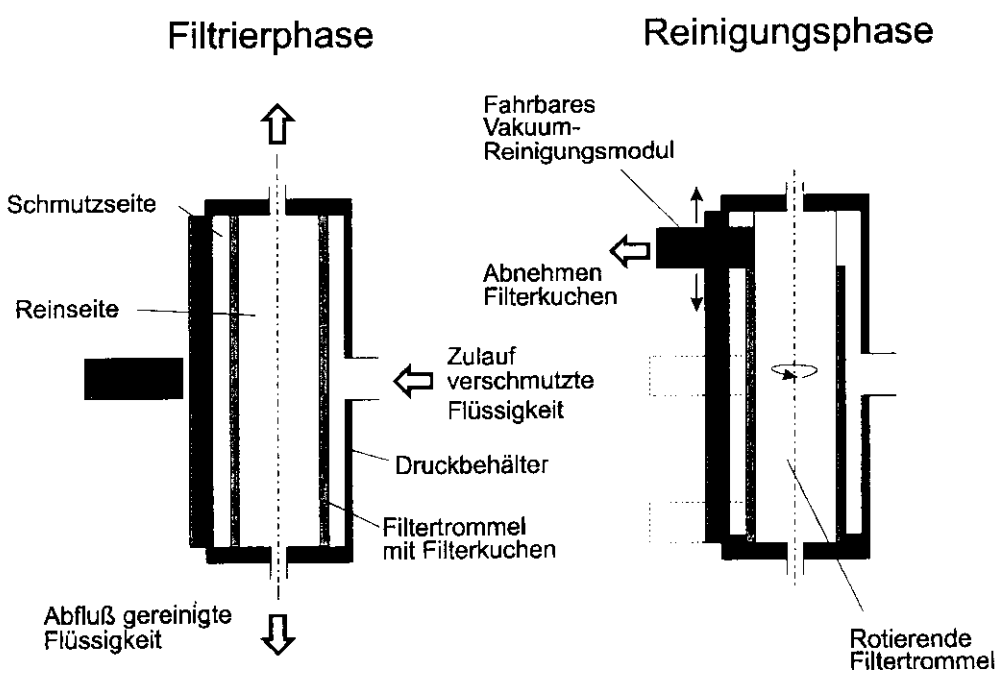


Abbildung 5-4: Schema des Filtersystem mit Filtrierphase und Reinigungsphase

5.3.2 Filter

Das Filtermedium besteht aus mehreren Lagen spezielle Edelstahlgewebe, welche aus einer breiten Palette von verschiedenen Geweben mit unterschiedlichen Filterfeinheiten ausgewählt werden können. Durch Kombination von Filtergeweben unterschiedlicher Porenweite kann die Filterfeinheit dem entsprechenden Einsatzfall angepasst werden. Die Porenweite der Filter liegt bei nominal 100 µm, durch den Aufbau eines in der Regel sehr dichten Filterkuchens wird die tatsächliche Filterfeinheit im Verlauf der Filtration jedoch deutlich verbessert.

Da der zu reinigende KSS der Filterkammer mit hohem Druck zugeführt wird, kann auch bei Verunreinigungen, die aufgrund ihrer Zusammensetzung schnell einen sehr dichten Filterkuchen aufbauen, eine ausreichend lange Filtrationszeit bei genügender Durchflußleistung gesichert werden.

5.3.3 Pressen

Die abgesaugten Filterkuchenbestandteile werden über einen Schlauch in einen Sammelbehälter geleitet. Von dort gelangen sie in eine automatische Preßvorrichtung und werden entfeuchtet. Der durch das Pressen zurückgewonnene KSS wird zurück in den Schmutztank geleitet. Der gepreßte Schlamm wird in Form von Pellets automatisch in einen weiteren Sammelbehälter ausgestoßen. Dieser kann vom Maschinenbediener in Transportbehälter entleert werden.

5.3.4 Modulare Bauweise

Durch die modulare Bauweise des Filtersystems können bis zu 4 Filterzylinder miteinander kombiniert werden. Je nach Anwendungsfall kann daher, ausgehend von der gleichen Grundeinheit, eine optimal dimensionierte Anlage eingesetzt werden. Bei Anlagen, die einen kontinuierlichen Filtrationsbetrieb erfordern, werden mindestens zwei Filterzylinder parallel eingesetzt.

Ein Nachrüsten von Filterzylindern ist allerdings nicht ohne weiteres möglich, da die Konzeption der Anlage vor dem eigentlichen Bau festgelegt werden muß. Will ein Kunde die Option einer Anlagenerweiterung haben, kann dies jedoch anlagen- und steuerungstechnisch vorbereitet werden. Dann ist eine Erweiterung problemlos möglich.

5.4 Einsatzgrenzen

Die Einsatzgrenzen für den Betrieb der Anlage basieren auf den Erfahrungswerten, die beim Ersteinsatz der Anlage bei der Fa. Wahl gemacht wurden und sind daher in weiten Teilen noch nicht genau bekannt. Bisher bekannte Einsatzgrenzen beziehen sich auf den Werkstückstoff, den Werkzeugstoff und den KSS:

Werkstückstoffe:
Bei den in der Zahnradherstellung eingesetzten Werkstoffen konnten bisher keine Einschränkungen festgestellt werden. Nach Angaben des Anlagenherstellers können außer Grauguß- und Hartmetallabtrag von der Anlage im jetzigen Ausbaustadium alle Metallsorten zufriedenstellend gefiltert werden.

Werkzeugstoffe:
Hinsichtlich der Werkzeugwerkstoffe sind bisher keine Einschränkungen bekannt. Insbesondere der Korund- und CBN-Abtrag von den Schleifscheiben verbindet sich im Filterkuchen mit dem Schleifschlamm und kann problemlos herausgefiltert werden. Lediglich der Verschleiß an den Preßzylindern der Schlammpresse wird hierdurch erhöht.

Kühlschmierstoffe:
Die Anlage eignet sich für KSS auf mineralölbasis und für vollsynthetische Produkte. Für den Einsatz mit Emulsionen liegen noch keine Erfahrungswerte vor. Laut Aussage des Herstellers dürfte es kein Problem sein, die Anlage auch erfolgreich mit Emulsion zu betreiben.

6 Durchgeführte Untersuchungen

Die neu entwickelte Anlage zur Reinigung von KSS wurde im Jahr 1997 bei der Firma Wahl in Betrieb genommen. Mit der Anlage soll, wie bereits erläutert, die bisherige Situation bei der Firma Wahl ökonomisch und ökologisch verbessert werden. So soll die Standzeit des KSS auf 3 Jahre erhöht und gleichzeitig der KSS-Austrag im Schlamm gesenkt werden. Im Rahmen des begleitenden Projekts sollen die Erfahrungen über die Anlage im Produktionsprozeß gewonnen und dokumentiert werden.

Die Anlage wurde zunächst nur an eine Zahnradschleifmaschine angeschlossen, um im Testbetrieb alle nötigen Grundeinstellungen vorzunehmen.

Hierunter fallen:

- die Temperaturregelung,
- die Einstellung des Filters,
- die Einstellung des KSS-Druckes in den Filterzylindern,
- die Filterreinigungsintervalle,
- die Einstellung der Schlammpresse und
- die Pumpenregelung für einen reibungslosen Betrieb der Zahnradschleifmaschine.

Die im Testbetrieb ermittelten Einstellungen konnten auf den späteren Betrieb an allen 3 Zahnradschleifmaschinen übertragen werden.

Weiter wurden während der Testphase Messungen der Ölviskosität und des Restölgehalts im Schleifschlamm durchgeführt, um den KSS-Austrag zu ermitteln. Auch die angestrebte Standzeitverlängerung des KSS wurde gegenüber dem alten Verfahren geprüft. Um die Akzeptanz der neuen Anlage zu ermitteln, wurde eine Mitarbeiterumfrage durchgeführt.

Mit Hilfe der gewonnenen Erkenntnisse kann die Wirtschaftlichkeit der Anlage aufgezeigt werden.

7 Ergebnisse

7.1 Optimierung der Anlage

Wie bereits erläutert, wurde die Anlage in einem ersten Zwischenschritt zunächst nur an eine Schleifmaschine vom Typ Reishauer NZA angeschlossen, um die Grundeinstellungen vorzunehmen. Ziel dieses Testbetriebes war, den reibungslosen Betrieb der Anlage unter Produktionsbedingungen zu erreichen.

Während des Probebetriebs wurden bereits nach ersten Versuchen sehr gute Ergebnisse bezüglich der KSS-Reinigung erreicht. Auch wiesen die gepreßten Schleifschlammpellets (Abbildung 7-1) einen deutlich geringeren Restölgehalt auf, als die bisherigen Schleifschlammrückstände (Kapitel 7.2 ff).

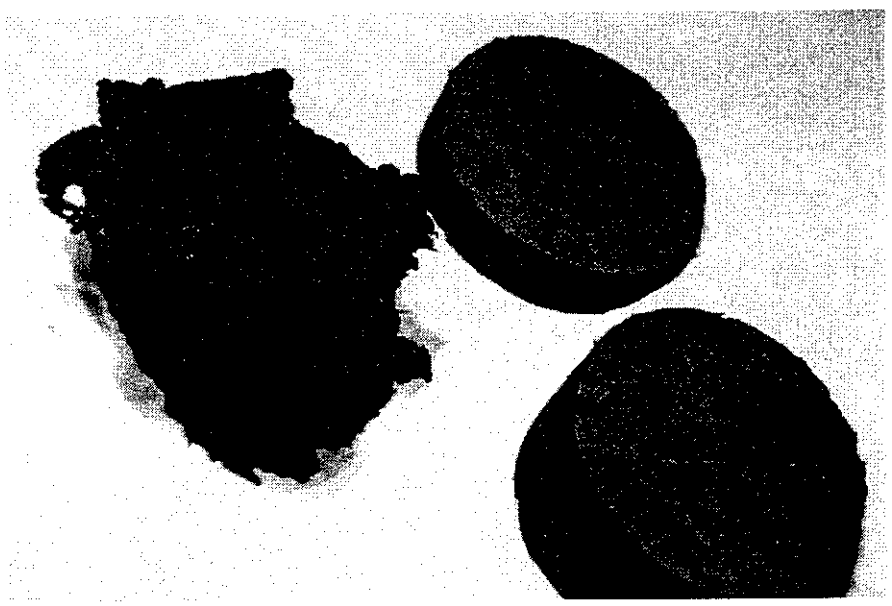


Abbildung 7-1: Herkömmlicher Schleifschlamm (links) und mit der neuen Anlage gepreßter Schleifschlamm (rechts)

Um die Entölbarkeit des Schleifschlammes noch weiter zu verbessern, wurde der ursprüngliche KSS mit einer Viskosität von 23 mm^2/s durch einen mit niedrigerer Viskosität von 12 mm^2/s ersetzt. Es zeigte sich nach wenigen Reinigungszyklen, daß sich durch das niedrigerviskose Öl eine noch geringere Restfeuchte im Schleifschlamm erzielen läßt.

Die Bearbeitungsqualität wird durch den niedrigerviskosen KSS nicht verändert und entspricht den jeweiligen Kundenanforderungen. Weitere Eigenschaften des niederviskosen Öles sind:

- verbesserte Kühlwirkung am Werkstück durch erhöhte Wärmeleitkapazität des Öls,
- bessere Benetzung der Kontaktfläche im Eingriffsbereich der Schleifscheibe,
- erhöhte Scherstabilität und damit erhöhte Schleifleistung durch moderne HP-Additivierung,
- geringerer Ölaustrag durch besseres Abtropfen von den Werkstücken,
- bessere Hautverträglichkeit durch moderne Additivierung (schwermetallfrei),
- geringe Ölnebelbildung sowie
- geruchsarmes Öl.

Der Nachteil liegt in einer geringfügigen Schaumbildung, die aber produktionstechnisch keinen Einfluß hat.

Ein weiterer Vorteil der Anlage, neben der besseren Reinigung des Öls und der besseren Entölung des Schleifschlamms, ist die Kühlung des Öls auf eine konstante Temperatur bevor es der Schleifmaschine wieder zugeführt wird. Dadurch werden die Werkstücke weniger aufgeheizt. Dies ergibt eine bessere Maßhaltigkeit der geschliffenen Zahnräder.

Auch die Oberflächenbeschaffenheit der Werkstücke wurde durch die neue Anlage verbessert. Dies wurde durch weniger Nacharbeit deutlich. Die Reinigungsqualität war somit nach Angaben der Firma Wahl ausreichend, daher wurde keine Restpartikelanalyse durchgeführt.

Problem bei dieser Anlage ist momentan noch die Geräuschentwicklung, die beim Bau von weiteren Anlagen vermindert werden soll.

Seit dem Testbetrieb der Anlage im Herbst 1997 bis Frühjahr 1998 läuft die Anlage störungsfrei im Automatikbetrieb. Lediglich das Entleeren des Schlammwagens in Transportbehälter ist vom Bedienpersonal manuell durchzuführen.

Nach Beendigung des Testbetriebs wurde auch im normalen Produktionsbetrieb das Öl mit niedriger Viskosität beibehalten.

Die Anlage ist inzwischen an drei Schleifmaschinen angeschlossen. Entgegen den ursprünglichen Planungen werden jedoch nicht drei, sondern nur zwei Zahnradschleifmaschinen vom Typ Reishauer NZA eingesetzt. Als dritte Schleifmaschine wurde von der Firma Wahl eine leistungsstärkere Schleifmaschine vom Typ Höfler-Promat beschafft (Abbildungen 7-2 und 7-3), für die höhere KSS-Drücke und höhere Durchflußmengen erforderlich sind.

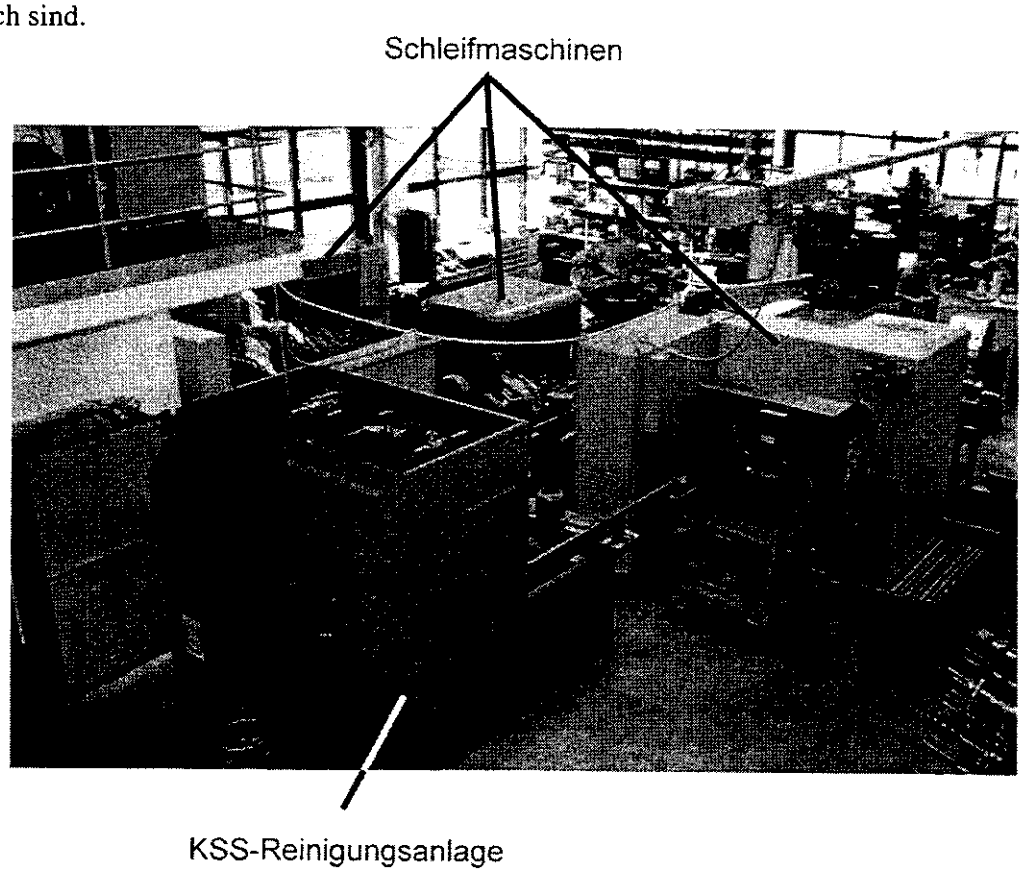


Abbildung 7-2: KSS-Reinigungsanlage, angeschlossen an drei Zahnradschleifmaschinen

Da die Pumpenleistung der KSS-Reinigungsanlage ursprünglich auf drei Maschinen vom Typ Reishauer NZA (Anforderung an die KSS-Versorgung: 60 l/min bei 4 bar) ausgelegt war, ist bei der Schleifmaschine Höfler Promat (Anforderung an die KSS-Versorgung: 100 l/min bei 8 bar) keine maximale Ölförderung möglich. Dies wirkt sich jedoch nicht auf den Produktionsprozeß aus, da die momentan zu bearbeitenden Werkstücke auch mit diesen Parametern ohne Probleme geschliffen werden können.

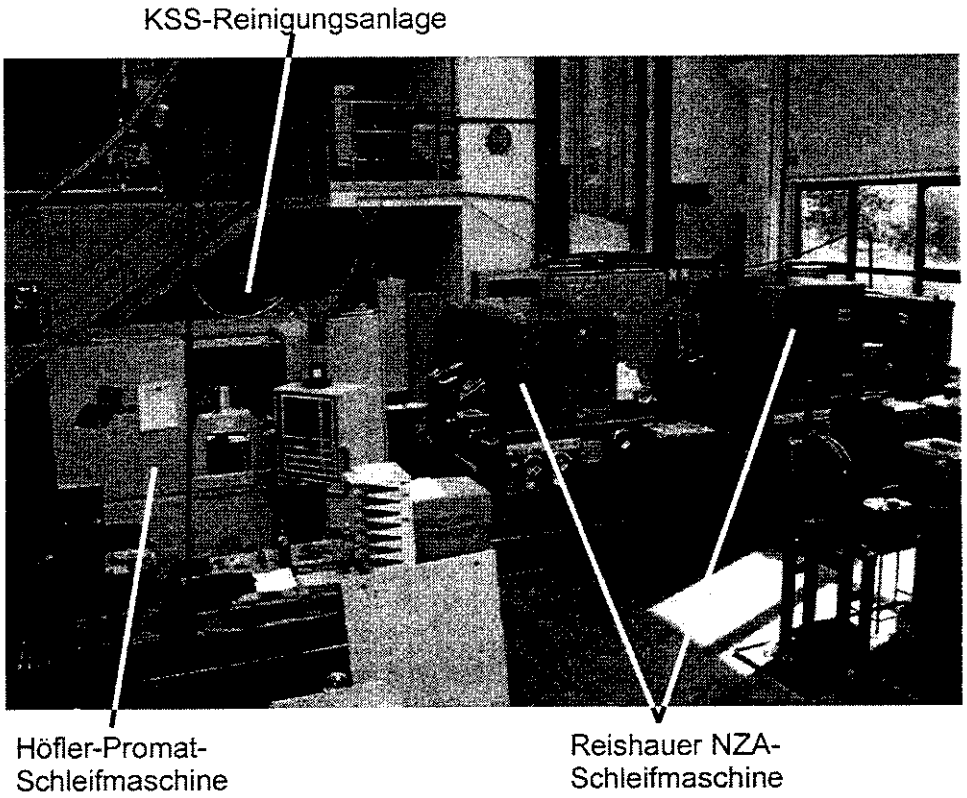


Abbildung 7-3: Höfler-Promat und Reishauer NZA Schleifmaschinen

Durch die höhere Reinheit und die gleichbleibende Temperatur des Öls ist laut Betreiber die Qualität der Zahnräder leichter zu erreichen als bisher. Hierzu liegen jedoch keine Zahlenwerte vor, da die Losgröße der gefertigten Teile zu gering ist.

Vor- und Nachteile der Anlage sind in Tabelle 7-1 aufgeführt.

Vorteile	Nachteile
- Kein Ausräumen der Schleudern mehr (je eine pro Maschine, z.T. mehrmals am Tag) - Reduzierter Ölaustrag durch Schlammpresse - Sauberes Öl, dadurch Verbesserung der Schleifeigenschaften - Gleichmäßige Temperatur, d. h. kein Erhitzen und Verdampfen des KSS - Gleichmäßiger und besser einstellbarer KSS-Volumenstrom - Keine Entsorgungsprobleme beim Schleifschlamm, da frei von Filterhilfsmittel - Reduzierung der KSS-Anlagen auf ein einziges Versorgungssystem - Günstigere Energiekosten - Erreichbare Amortisationszeit	- Größerer Raum- und Platzbedarf - Höhere Einstandsinvestition - Bei vollständigem Anlagenausfall stehen alle Maschinen still

Tabelle 7-1: Vor- und Nachteile der Anlage (Angaben der Firma Wahl)

Parallel zur Erstellung dieser Liste wurde unter den Mitarbeitern eine Umfrage durchgeführt. In der Umfrage sollte der Zustand der neuen Anlage nach einem Jahr Probelauf mit dem Zustand vor der Aufstellung der neuen Anlage verglichen werden.

Hierbei wurden Aspekte aus allen Bereichen berücksichtigt, wie:
- Handhabung und Sicherheit,
- Lautstärke,
- Wartungsaufwand,
- Sauberkeit,
- Design,
- Notwendigkeit einer neuen Anlage,
- Einfluß auf die Arbeit an der Schleifmaschine usw.

Die Ergebnisse der Umfrage sind in Tabelle 7-2 dargestellt.

Positive Punkte	Negative Punkte
- Einfache Handhabung - Geringerer Wartungsaufwand (tägliche Schlammentleerung entfällt) - Größere Sauberkeit am Arbeitsplatz - Nur mäßige Erwärmung des Öls - Qualitätsverbesserung durch mäßige Ölerwärmung - Bei den Schleifmaschinen Reishauer NZA: Verbesserung des Kühlöleinsatzes durch Druckerhöhung	- Höherer Geräuschpegel - Verstopfung des Ansaugsiebes (Mittlerweile behoben) - Bei der Schleifmaschine Höfler-Promat: keine maximale Ölförderung (Bedingt durch ursprüngliche Auslegung der Pumpenleistung für drei Reishauer-Maschinen, von denen eine durch die Höfler-Maschine ersetzt wurde)

Tabelle 7-2: Ergebnisse der Mitarbeiterumfrage

7.2 Restölgehalt im Schleifschlamm

Beim bisherigen Verfahren blieben als Schmierstoffgehalt 40 % Restöl im Schleifschlamm zurück. Dies ist auf die unzureichende Trennung mit den bisher eingesetzten Zentrifugen zurückzuführen. Nach der Filtration des Öls in der neuen Anlage, vor dem Pressen, liegt die Restfeuchte bei 60 - 70 %. Durch den Einsatz der Schlammpresse und des niedrigerviskosen Öls ergibt sich ein Restölgehalt im Pressling von 12,77 %. Für die neue Anlage liegen hinsichtlich der Restfeuchte nur Messwerte für das niederviskose Öl vor, da nach der Umstellung auf dieses Öl nur eine ungenügende Menge des bisher eingesetzten Öls zur Verfügung stand.

In Abbildung 7-4 ist die Reduzierung des Restölgehalts durch die neue Anlage deutlich zu erkennen.

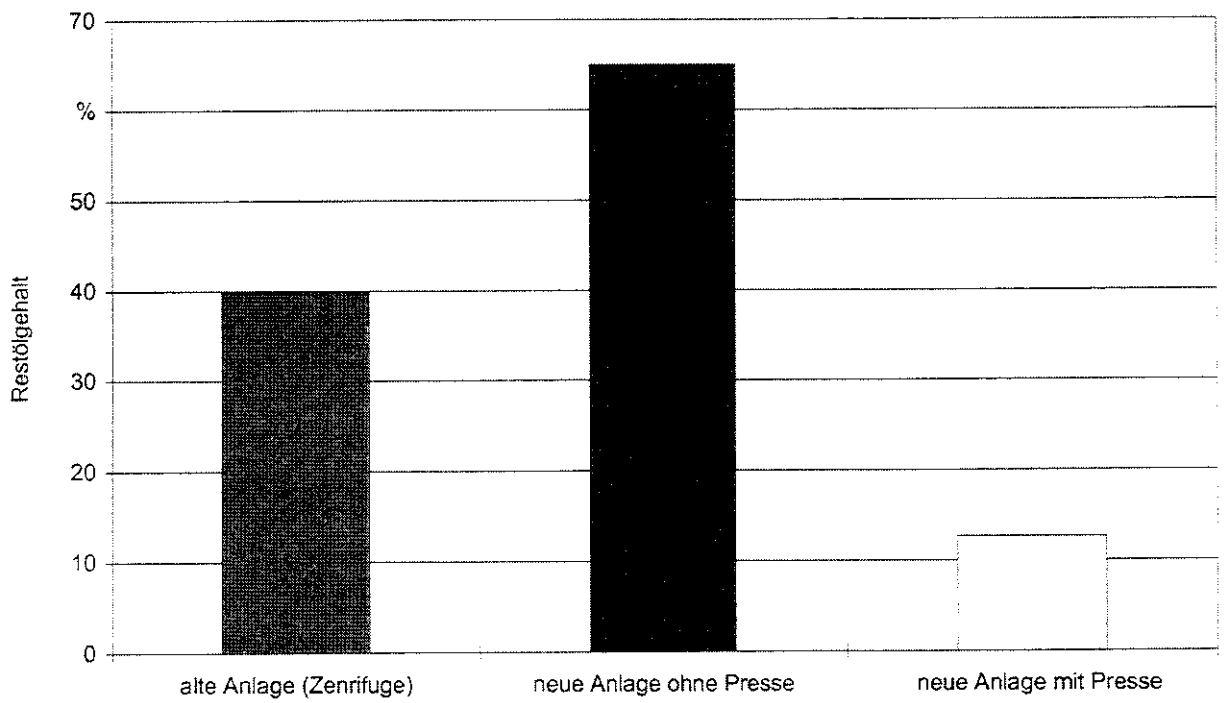


Abbildung 7-4: Restölgehalt im Schleifschlamm beim Probebetrieb

Die Nachfolgende Berechnung gibt den Schlammanfall und die daraus resultierenden Mengen an KSS-Austrag und Feststoffmenge den bisherigen KSS-Anlagen wieder. Wie bereits erwähnt waren drei Anlagen zur Einzelversorgung eingesetzt.

max. Schlammanfall pro Maschine:			0,5	kg / h
max. Arbeitszeit bei Vollauslastung:			16	h / d
max. Schlammanfall / h:	(0,5 kg / Maschine) x 3	=	1,5	kg / h
max. Schlammanfall / d:	(1,5 kg / h) x 16 Std.	=	24	kg / d
max. Schlammanfall / a:	(24 kg / d) x 240 Tage	=	5.760	kg / a

Der Restölgehalt des Schleifschlamms liegt bei der bisherigen Anlage bei ca. 40 %.
Daraus folgt:

Restöl im Schleifschlamm:	5.760 kg / a x 0,4	=	2.304	kg /a Restöl
	2.304 kg /a / 0,88 kg / l	=	2.618	l /a Restöl

Der Feststoffanteil (Metall und Schleifscheibenabrieb) im Schleifschlamm liegt bei der bisherigen Anlage bei ca. 60 %.

Daraus folgt:
Feststoffanteil im Schleifschlamm : 5.760 kg /a x 0,6 = 3.456 kg / a Feststoff

Durch die integrierte Schlammpresse in der neuen Reinigungsanlage läßt sich der Restölgehalt auf 12,77 % reduzieren. Die abzuspanende Werkstückstoffmenge bleibt aber unverändert, auch der Schleifscheibenabrieb kann als gleich angenommen werden Es fallen also auch bei der neuen Anlage 3.456 kg / a Metallspäne und Schleifscheibenabrieb an, was einem Anteil von 87,23 % entspricht.

Demnach ist bei der neuen Anlage die
Gesamtschlammenge: 3.456 kg / a / 0,8723 = 3.962 kg / a Schleifschlamm

Restöl im Schleifschlamm (12,77%): 3.962 kg / a x 0,1277 = 506 kg / a Restöl
506 kg / a / 0,88 kg / l = 575 l / a Restöl

Tabelle 7-3 gibt zusammenfassend die Verminderung des KSS-Austrags und der anfallenden Schlammenge an. In Abbildung 7-5 ist dies über einen Zeitraum von 3 Jahren aufgezeigt.

	Alte Anlage	neue Anlage	**Verminderung durch weniger Austrag**
Festpartikelanfall pro Jahr	3.456 kg	3.456 kg	-
Schlammanfall pro Jahr	5.760 kg	3.962 kg	**1.798 kg**
KSS-Austrag pro Jahr	2.618 l	575 l	**2.043 l**

Tabelle 7-3: Verminderung des Schlammanfalls und des Ölverbrauchs durch weniger Ölaustrag

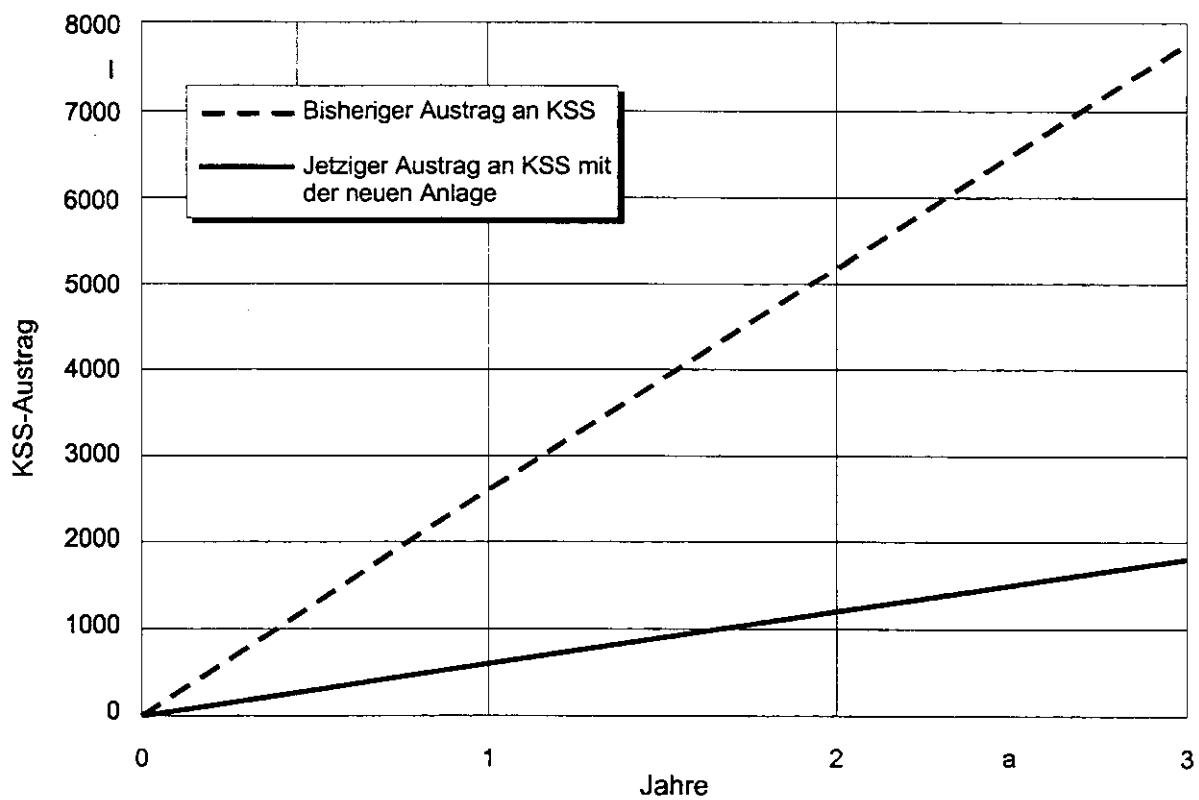


Abbildung 7-5: KSS-Austrag vorher und mit der neuen Filtrationsanlage

Die entölten und gepreßten Pellets können aufgrund des geringen Restölgehalts ohne weitere Maßnahmen einer metallurgischen Verwertung zugeführt werden.

7.3 Einsparung an Kühlschmierstoff durch längere Standzeit

Aufgrund der guten Reinigung, Kühlung und Umwälzung des KSS wird die Standzeit wesentlich verlängert. Mußte früher der KSS zwei mal im Jahr ausgetauscht werden, was vor allem auf die Anreicherung des KSS mit Schmutzpartikeln zurückzuführen war, muss jetzt der KSS voraussichtlich nur einmal in 3 Jahren ausgetauscht werden. Allerdings ist das Kühlschmierstoffvolumen aufgrund der Zentralversorgung erhöht worden. Gegenüber ursprünglich 800 l Öl pro Maschine, also insgesamt 2400 l, sind in der neuen Anlage 3000 l im Umlauf.

Die Einsparung an KSS resultiert aus folgender Berechnung:

Gesamt KSS-Volumen der bisherigen Anlage: 800 Liter / Maschine		=	2.400 Liter
Mit der bisherigen KSS-Anlage			
KSS-Wechsel zweimal jährlich:	2.400 Liter x 2	=	4.800 Liter / a
In 3 Jahren zu entsorgen:	4.800 Liter x 3	=	14.400 Liter
mit der neuen KSS-Anlage			
KSS-Wechsel einmal in 3 Jahren :	3.000 Liter x 1	=	3.000 Liter
Einsparung an ausgetragenem KSS in 3 Jahren:		=	11.400 Liter

Die Einsparungen an KSS belaufen sich bei der neuen Anlage somit auf 3.800 l pro Jahr.

In Abbildung 7-6 ist der KSS-Bedarf bisher und mit der neuen Anlage im Zeitraum von 3 Jahren dargestellt.

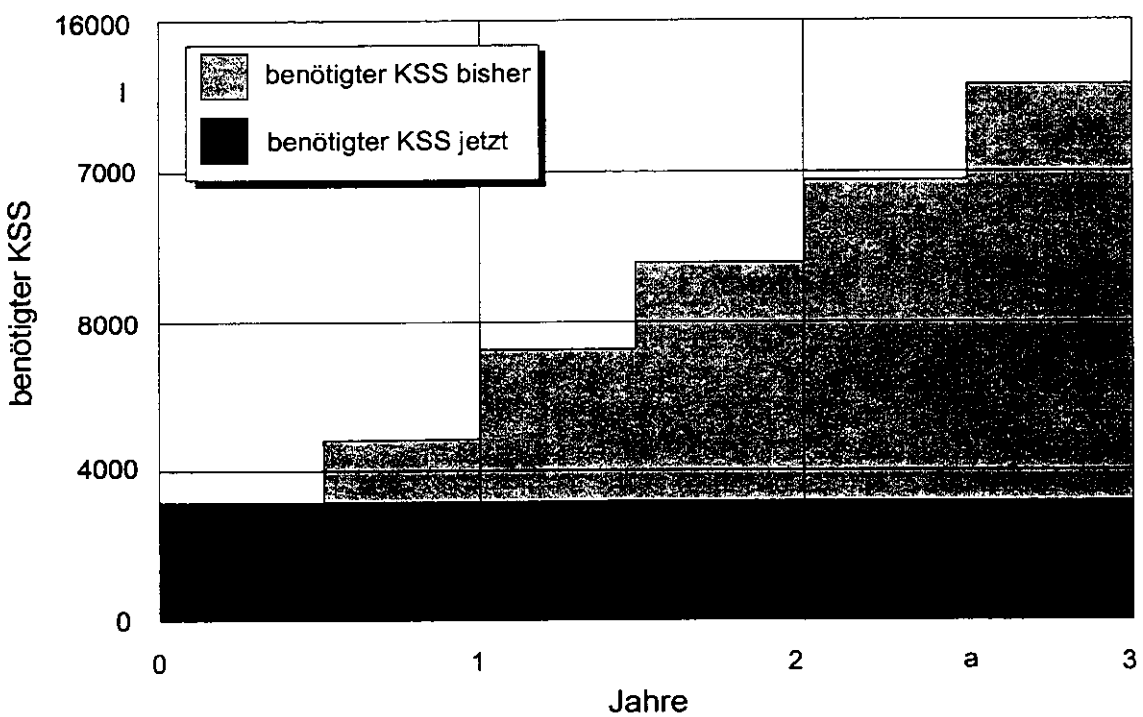


Abbildung 7-6: KSS-Verbrauch bisher und mit dem neuen Filtersystem im Zeitraum von 3 Jahren

8 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

8.1 Kosten der bisherigen Anlage

8.1.1 Kühlschmierstoff-Bedarf der bisherigen Anlage

Bei der bisherigen Anlage waren pro Maschine 800 l KSS im Einsatz. Der KSS mußte aufgrund der Verschmutzung 2 mal im Jahr ausgetauscht werden. Dies entspricht bei 3 Schleifmaschinen, wie bereits erläutert, 4 800 l. Zusätzlich mußte der durch den Schlamm ausgetragene KSS (s. Kap. 7.2) ersetzt werden. Dies hat bisher einen zusätzlichen Bedarf von 2 618 l pro Jahr verursacht.

Bedarf pro Jahr:	4.800 l / a
zusätzlich durch Austrag pro Jahr:	2.618 l / a
Gesamtbedarf pro Jahr:	7.418 l / a

Der momentane Preis des Schleiföles liegt bei 3,50 DM / l

Kosten durch KSS-Bedarf: 3,50 DM / l x 7.418 l / a 25.963,- DM / a

8.1.2 Kosten der KSS- und Schlammentsorgung der bisherigen Anlage

Pro Jahr müssen 4 800 l verbrauchter Kühlschmierstoff entsorgt werden. Der Preis für die Entsorgung belief sich auf 150,- DM/t

Verbrauchte KSS-Menge: 4.800 l / a x 0,88 kg / l = 4.224 kg / a

Entsorgungskosten für KSS: 4.224 kg / a x 150,- DM / t = 634,- DM / a

Die anfallende Menge Schlamm betrug bei der bisherigen Anlage, wie in Kapitel 7.2 erläutert, 5.760 kg/a. Der Entsorgungspreis hierfür beträgt 600,- DM / t

Entsorgungskosten für Schlamm: 5.760 kg / a x 600,- DM / t = 3.456,- DM / a

8.1.3 Kosten durch Schleifschlamm-Handling

Da die Zentrifugen bei der bisher eingesetzten Anlage jeden morgen von Hand entleert werden mußten, wurden hierfür bis zu 1,5 Stunden pro Maschine benötigt. Bei 240 Arbeitstagen im Jahr und 55,- DM/h ergeben sich folgende Kosten für die Zentrifugenreinigung:

Zeitaufwand pro Tag für eine Maschine:		1,5 h / d
Zeitaufwand pro Jahr für 3 Maschinen:	240 d x 3 x 1,5 h / d	= 1.080,0 h / a

Jährliche Gesamtkosten: 1.080,0 h / a x 55,- DM / h = 59.400,- DM / a

Da der Wartungs- und Energieaufwand für die Zentrifugen nicht genau beziffert werden kann, werden hierfür 10.000 DM pro Jahr angenommen.

8.2 Kosten der neuen Anlage

8.2.1 Kühlschmierstoff-Bedarf der neuen Anlage

Bei der neuen Anlage mit Zentralversorgung sind 3.000 l KSS im Einsatz. Der KSS hat aufgrund der guten Reinigung der neuen Anlage eine Standzeit von 3 Jahren. Der durch den Schlamm ausgetragene KSS beträgt, wie in Kap. 7.2 erläutert, 575 l / a.

KSS-Bedarf pro Jahr:	3.000 l/3a	1.000 l / a
zusätzlicher Bedarf durch Austrag pro Jahr:		575 l / a
Gesamtbedarf pro Jahr:		1.575 l / a

Der momentane KSS-Preis für das Schleiföl liegt bei 3,50 DM/l

Kosten durch KSS-Bedarf: 3,50 DM / l x 1.575 l / a = 5.513,- DM /a

8.2.2 Kosten der KSS- und Schlammentsorgung der neuen Anlage

Alle 3 Jahre müssen 3.000 l verbrauchter KSS entsorgt werden. Der Preis für die Entsorgung beläuft sich auf 150,- DM / t

KSS-Verbrauch in 3 Jahren:	3.000 l x 0,88 kg / l	= 2.640 kg
KSS-Verbrauch pro Jahr:	2.640 kg / 3	= 880 kg / a

Entsorgungskosten für KSS pro Jahr: 880 kg / a x 150,- DM / t = 132,- DM / a

Die anfallende Menge Schlamm beträgt 3.962 kg/a , wie in Kap. 7.2 erläutert. Der Entsorgungspreis beträgt 600,- DM / t. Somit betragen die Entsorgungskosten:

Entsorgungskosten für Schlamm pro Jahr: 3.962 kg / a x 600,- DM / t = 2.377,- DM / a

8.2.3 Bedienkosten der neuen Anlage

Die neue Anlage, einschließlich der Schlammpresse, arbeitet voll automatisch. Lediglich der Abtransport der gepreßten Schlammbriketts vom Sammelbehälter der Anlage in Entsorgungscontainer muß noch vom Bedienpersonal durchgeführt werden. Hierfür werden ca. 10 min pro Tag benötigt. Bei 240 Arbeitstagen pro Jahr ergeben sich hierfür folgende Kosten:

Täglicher Zeitaufwand für die Entleerung:	0,167 h / d	
Jährlicher Zeitaufwand für die Entleerung:	240 d x 0,167 h/d	= 40,08 h / a

Bei einem Stundenlohn von 55,- DM / h ergeben sich

Jährliche Gesamtkosten: 40,08 h / a x 55,- DM / h = 2.204,- DM / a

Da der Wartungs- und Energieaufwand auch für die neue Anlage nicht genau beziffert werden kann, werden 8.000 DM pro Jahr angenommen, da die Anlage weniger Energie verbraucht, als die 3 Zentrifugen.

8.3 Gegenüberstellung der Kosten der bisherigen und der neuen Anlage

In Tabelle 8-1 sind die Kosten der bisherigen und der neuen Anlage zusammenfassend gegenübergestellt. In der letzten Spalte ist die resultierende jährliche Ersparnis dargestellt.

Kosten	alte Anlage [DM/a]	neue Anlage [DM/a]	Ersparnis [DM/a]
KSS-Bedarf	25 963	5 513	20 450
KSS-Entsorgung	634	132	502
Schlammentsorgung	3 456	2 377	1 079
Bedienung	59 400	2 204	57 196
Wartung und Energie	10 000	8 000	2 000
Summe	**99 453**	**18 272**	**81 227**

Tabelle 8-1: Jährliche Kosten und Kostenersparnis der bisherigen und der neuen Anlage

Die Tabelle 8-1 bezieht sich nur auf die Kostensituation bei der Firma Wahl. Gegenüber anderen Anlagen, als sie bei der Fa. Wahl bisher eingesetzt wurden, können die Einsparungen durch Verwendung der hier vorgestellten Technologie weit höher ausfallen. Dies ist insbesondere dann anzunehmen, wenn bisher Vliese oder Kieselgur als Filterhilfsmittel verwendet werden, da bei der vorgestellten neuen Anlage Kosten für die Beschaffung und die Entsorgung von Filterhilfsmitteln entfallen.

8.4 Amortisationszeit

Der Preis für eine kleine Zentralanlage, wie sie bei der Firma Wahl installiert wurde, liegt je nach Ausstattung (mit oder ohne Schlammpresse, Art- und Größe des Kühlers, Automatisierungsgrad, Anzahl der angeschlossenen Maschinen, Volumenstrom, Schlammenge) zwischen 100.000 DM und 150.000 DM.
In Tabelle 8-2 ist die Berechnung für die Amortisationszeit für 2 Investitionssummen dargestellt.

Investitionskosten I [DM]	100.000	150.000
Finanzierungsosten FK = 0,5 x I x 8 % [DM/a]	4.000	6.000
Einsparungen E lt. Tabelle 8-1 [DM/a]	81.227	81.227
Kostenersparnis KE = E-FK [DM/a]	77.227	75.227
Amortisationszeit A = I / KE	**1,3 Jahre**	**2 Jahre**

Tabelle 8-2: Amortisationszeit

Mit einer Amortisationszeit von 1,3 bis 2 Jahren stellt die Anlage eine produktive, wirtschaftliche und umweltverträgliche Alternative zum bisherigen System dar. Den Investitionskosten von 100.000 DM bis 150.000 DM stehen im vorgestellten Modellfall jährliche Einsparungen von ca. 81 200 DM gegenüber. Insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen mit ähnlichen Kostenstrukturen, wie sie bei der Fa. Wahl ursprünglich vorhanden waren, ist eine solche Investition wirtschaftlich interessant.

Neben der beschriebenen kleinen Zentralanlage für 3 Maschinen werden auch Anlagen für einzelne Maschinen angeboten. Die Anlagenkosten einer Einzelanlage liegen, je nach Ausstattung, im Preisbereich zwischen 60.000 DM und 90.000 DM. Der vorgestellte Anlagentyp eignet sich besonders hierfür oder, wie vorgestellt, als kleine Zentralanlage für maximal 3 bis 4 Maschinen pro Anlage.

9 Übertragbarkeit auf andere Branchen und Ausblick

Aufgrund einschlägiger Erfahrungen mit Problemen von KSS-Reinigungsanlagen für Schleifprozesse wurde die Entwicklung der vorgestellten Filteranlage vorrangig auf dieses Aufgabengebiet abgestimmt. Die meistens sehr kurzspanenden Werkstoffe beim Schleifen (z.B. HSS) bereiten vielen derzeit auf dem Markt angebotenen Systemen erhebliche Schwierigkeiten. Durch die Wahl des Druckfilterprinzips mit einer sehr guten Trennung von Flüssigkeit und Feststoffen ergibt sich ein verbessertes Leistungsvermögen in diesem Einsatzgebiet.

Durch die Vielzahl der beim Schleifen möglichen Anforderungen wurde ein sehr flexibles System entwickelt. Diese Flexibilität ermöglicht den Einsatz der Anlage in fast allen Gebieten der spanabhebenden Metallbearbeitung bei denen Metallschlämme anfallen. Einige Beispiele sind die Zahnradfertigung, Schneckenfertigung, Gewindefertigung, Flach-, Rund-, Profilschleifen etc.

Trat am Anfang noch eine starke Geräuschentwicklung auf, konnte diese mittlerweile gemindert werden. Eine zweite Anlage für die Firma GSC Schwörer in Eisenach, die mittlerweile im Betrieb ist, arbeitet wesentlich geräuschärmer. Das Aggregat zum Abbreinigen der Filterzylinder ist in dieser Anlage in einer separaten schallisolierten Kammer im Ölbehälter der Anlage untergebracht. Eine weitere Anlage für eine Firma in Berlin ist mittlerweile in der Planung

Das Reinigungssystem eignet sich sehr gut für KSS auf Mineralölbasis. Allerdings muss die Viskosität des Öls beachtet werden. Niederviskoses Öl kann aus dem Schleifschlamm besser ausgepreßt werden, wodurch sich der KSS-Austrag verringert. Höherviskose Öle können aber ebenfalls ohne Probleme verarbeitet werden.

Für den Einsatz mit waschermischbaren KSS liegen im Moment keine Erfahrungen vor. Nach Angaben des Herstellers ist der Einsatz der Anlage bei wassermischbaren KSS aber technisch kein Problem.

Weitere Einsatzgebiete für die beschriebene Technologie ergeben sich in der chemischen Industrie und der verfahrenstechnischen Industrie, für die jedoch mit konstruktiven oder verfahrenstechnischen Anpassungen gerechnet werden muß. Hauptzielgruppe für die vorgestellte Kühlschmierstoff-Reinigungsanlage sind momentan Schleifanwendungen bei der Metallbe- und -verarbeitung.

10 Literatur

/1/ **Kißler, H.:** *Möglichkeiten zur Behandlung und Verwertung von Metallschleifschlämmen.* In: Schleifschlamm, Tagungsband der ABAG vom 23.6. 1998 in Rastatt, S. 3-23

/2/ **N.N.:** *Schleifschlämme- Vom Sonderabfall zur Verwertung-Teil* 1. In: Der Dialog, Informationsschrift der Abfallberatungsagentur ABAG, 4. Jahrgang Nr. 3 10/95

/3/ **Jegenoglu, M.**: *HSG-Technologie.* Druckhaus Schw. Bote GmbH, S. 150- 160.

/4/ **Zimmermann, M.:** *KSS-Filtrierung ohne Hilsmittel - Übersicht über Verfahren und Einsatzbereiche.* In: Schleifschlamm, Tagungsband der ABAG vom 23.6. 1998 in Rastatt, S. 27-40

/5/ **Gutsche, U.**: *Filterhilfsmittelfreies Druckfiltersystem zum Reinigen von Hochleistungs-Kühlschmierstoffen bei Schleifanwendungen.* Fachtechnische Anlagenbeschreibung, 1997