

Expertenwissen

Kühlschmierstoffpflege:

Kosten halbieren, Qualität verbessern



Inhaltsverzeichnis:

1. Gesetzliche Vorschriften und Anforderungen an den Unternehmer	4
1.1. Die TRGS 611: Regelmäßige Überwachung und Pflege ist Pflicht!	4
1.2. Die DGUV-Regel 109-003: Tabellen und Musterprotokolle	4
1.3. VDI 3397 Blatt 2: Kriterien für das Standzeitende von KSSE	6
1.4. Zusammenfassung	7
2. Wie altert eine Kühlschmier-Emulsion?	8
2.1. Chemische Verunreinigung	8
2.2. Biologische Verunreinigung	10
2.3. Mechanische Verunreinigung (Partikel)	15
2.4. Chemische Zersetzung	17
3. Die VDI 3397-2: Verschiedene Techniken und ihre Grenzen	20
3.1. Absetzbecken	20
3.2. Bandfilteranlagen	21
3.3. Hydrozyklone	21
3.3. Magnetabscheideanlagen	22
3.4. Ölskimmer	22
3.5. Absauganlagen	23
3.6. Rückspülbare Druckfilter	24
3.7. Druckfilter mit Einweg-Patronen	25
4. Literaturnachweis	27

Expertenwissen Kühlschmierstoffpflege: Kosten halbieren, Qualität verbessern

Dieser Ratgeber zeigt Ihnen unabhängig vom verwendeten Kühlschmierstoff, wie Sie

- den Kühlschmierstoff in Ihren Werkzeugmaschinen gesetzeskonform überwachen und protokollieren
- gesundheitliche Probleme bei Ihren Mitarbeitern vermeiden
- die Verfügbarkeit Ihrer Maschinen sichern
- die Standzeiten Ihrer Werkzeuge erhöhen
- die Oberflächengüte um bis zu 300% verbessern (siehe Fallstudie)
- und dabei rund 75% der Kosten für Pflege, Austausch und Entsorgung einsparen

Der Herausgeber:

Dipl.-Ing. Norbert Fleck,
Inhaber/Geschäftsführer der Firma IDV
engineering mit über 20 Mitarbeitern.

Ich habe an der TU Karlsruhe studiert und arbeite seit mehr als 20 Jahren in der Zerspanung und Metallverarbeitung.

In meiner Firma IDV engineering im oberbayerischen Tacherting im Landkreis Traunstein betreibe ich derzeit zwei 5-Achs-Bearbeitungszentren, auf denen vorwiegend Werkzeuge für die PU-Formverschäumung und Komponenten für Schmierölversorgungen hergestellt werden.



Das Materialspektrum reicht dabei von verschiedenen Aluminiumlegierungen über Automatenstahl, Werkzeug- und Edelstähle bis hin zu Kupferbasislegierungen.

Als sich Anfang 2016 mit dem Einstieg in die Mikrozerspanung zeigte, dass die an den Maschinen vorhandenen Kühlschmierstoffkreisläufe die Anforderungen an eine umweltgerechte und technologisch führende

Fertigung nur unzureichend erfüllen konnten, begann ich mit meinem Team, nach zeitgemäßen Lösungen zu suchen. Diese sollten auch abseits der allgemein üblichen Maßnahmen mit möglichst geringem Aufwand den bestmöglichen Effekt erzielen.

Nach gut einem Jahr Forschung und Entwicklung kann nun ein Verfahren vorgestellt werden, das bei einem extrem günstigen Preis-Leistungsverhältnis die Erwartungen bei weitem übertrifft hat.

Sowohl in der Mikrozerspanung, wie auch in der Herstellung von Spiegelglanz-Oberflächen ohne Nachpolieren ist ein praktisch partikelfreier Kühlschmierstoff die Voraussetzung für einen sicher beherrschbaren Prozess und bestmögliche Ergebnisse.

Zudem konnten wir in der eigenen Fertigung die Standzeit unserer Kühlschmierstoff-Emulsion praktisch unbegrenzt verlängern, ohne auch nur einen Tropfen Biozide oder sogenannte Konservierungsmittel einsetzen zu müssen.

Eine praktisch geruchlose Produktion und damit optimaler Gesundheitsschutz meiner Mitarbeiter ist neben auffallend sauberen Maschinen der sichtbarste Effekt der Mikrofiltration.

Wie dies möglich ist und welche Mechanismen dahinter stecken, erfahren Sie in diesem Ratgeber.

Wenn auch Sie Ihre Kühlschmierstoffe optimal pflegen und die Kosten um 75% senken möchten, stehe ich Ihnen mit meinem Team jederzeit persönlich zur Verfügung:

filter@idv-engineering.de Tel.: 08621 90345-40

Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen und denke, dass auch Sie das eine oder andere Aha-Erlebnis haben werden.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'N. Fleck'.

1. Gesetzliche Vorschriften

1.1. Die TRGS 611: Regelmäßige Überwachung und Pflege ist Pflicht!

Als "technische Regel für Gefahrstoffe" hat diese Vorschrift faktisch Gesetzescharakter. Das heißt, dass aus der Missachtung direkte rechtliche Folgen erwachsen können. Dies gilt insbesondere dann, wenn Mitarbeiter vermeidbaren Gefahren ausgesetzt werden und dadurch ein Schaden eintritt.

Die TRGS 611 beschäftigt sich vorrangig mit der Bildung von krebserregenden Nitrosaminen in Kühlschmierstoff-Emulsionen ("KSSE"). Werden die Grenzwerte nach Tabelle 1 überschritten, ist ein Austausch der KSSE zwingend erforderlich.

Diese Grenzwerte liegen bei 20 mg/l Nitrit und 5 mg/kg N-Nitroso-diethanolamin (NDELA). Zudem darf das Ansetzwasser nicht mehr als 50 mg/l Nitrat enthalten, was auch dem Grenzwert für Trinkwasser entspricht.

Um der Entstehung von krebserzeugendem NDELA vorzubeugen sind

- der Nitratgehalt im Ansetzwasser (bzw. in der KSSE)
- der Nitritgehalt in der KSSE (< 20 mg/l)
- der pH-Wert (gemäß Herstellervorgabe)
- die Temperatur der KSSE (< 30°C)

zu überwachen und zu protokollieren.

Wird eine erhöhte mikrobiologische Besiedlung (Bakterienbefall) der KSSE festgestellt, kann auch zusätzlich eine wöchentliche Prüfung auf Mikroorganismen erforderlich werden.

1.2. Die DGUV-Regel 109-003: Tabellen und Musterprotokolle

In dieser Vorschrift findet sich in Anhang 3 und Anhang 4 ein Prüfplan und ein Musterprotokoll für wassergemischte Kühlschmierstoffe, ebenso Vorlagen für die Info-Aushänge, Reinigungspläne und andere nützliche

Informationen. Ein Download lohnt sich!

<http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/r-143.pdf>



Ergänzend zur TRGS 611 werden hier folgende Parameter zur wöchentlichen Überwachung vorgeschrieben:

- "Wahrnehmbare Veränderung" wie Aussehen, Geruch
- pH-Wert
- Ölkonzentration (Refraktometermessung)
- Nitritgehalt (mg/l, Teststäbchen)



Nur bei Bedarf durchzuführen, aber in jedem Fall zu protokollieren sind

- Konservierungsmaßnahmen, Korrosion und Leitfähigkeitsprüfung, sofern durchgeführt bzw. beobachtet.
- Basenreserve / Konzentration Säuretitration
- Nitratgehalt des Ansetzwassers (mg/l, Teststäbchen)

Werden Werkstoffe, die giftige und/oder sonstige problematische (Legierungs-)Bestandteile (Beryllium, Kobalt, Blei etc.) enthalten bearbeitet, so ist die KSSE auch auf diese Stoffe hin zu überwachen. Hierzu gibt es teilweise Teststäbchen oder Analysekits, in den übrigen Fällen müssen regelmäßige Laboruntersuchungen veranlasst werden.

1.3. VDI 3397 Blatt 2: Kriterien für das Standzeitende von KSSE

Auch die (kostenpflichtig beim BEUTH-Verlag erhältliche) VDI-Richtlinie spricht klare Worte, die man als Anlagenbetreiber unbedingt beachten sollte, um eventuellen Haftungsansprüchen zu entgehen und die eigenen Anlagen nicht unnötig zu schädigen. Ebenso wie DIN, EN und ISO-Normen sind die VDI und VDE-Richtlinien sogenannte Beiträge zum "allgemein anerkannten Stand der Technik", so dass ihre Beachtung oder Nicht-Beachtung im Schadensfall eine wesentliche Rolle bei der Klärung der Schuldfrage spielt.

Aus dieser Richtlinie lassen sich als Kriterien für einen Wechsel der KSSE primär folgende Kriterien ableiten:

- akute Hautveränderungen bei den Bedienern
- deutliche oder rasche Veränderung des pH-Wertes (Hinweis auf starken Mikrobenbefall)
- Schlamm- oder Schleimbildung bzw. Verstopfen von Kühlkanälen
- auffälliger, unangenehmer bzw. deutlich vom Neuansatz abweichender Geruch
- Phasentrennung (Aufschwimmen von Öl)
- Rückstandsbildung, Verkrustungen, Verklebungen
- inakzeptabler Gehalt an Fremdstoffen, insbesondere Fremdöle
- unzulässig erhöhter Gehalt an störenden oder schädlichen Partikeln oder Salzen (insbesondere auch giftige Legierungsbestandteile aus den bearbeiteten Werkstoffen) gemäß Gefahrstoff-Richtlinien.
- Verringerter Leitwert durch Eintrag von Chloriden bzw. beobachtete Korrosion an der Maschine (Kontrolle mit Leitwert-Messgerät, Herstellervorgabe)

- zu hoher Kalkgehalt (vgl. Herstellervorgaben)
- verringerte Werkzeugstandzeiten im Vergleich zu einer frisch befüllten Maschine
- mangelhafte Oberflächengüte (vor allem bei Schleif- und Polierarbeiten)

Werden einzelne oder mehrere der oben genannten Kriterien erfüllt ist ein Austausch der KSSE in der Regel nicht mehr zu vermeiden.

Um nicht bereits wenige Tage später den nächsten Austausch durchführen zu müssen, ist eine gründliche mechanische und biologische Reinigung der Maschine erforderlich. Unter Beachtung der BGR-GUV-R 143 wird dabei der Einsatz von Systemreinigern empfohlen, um Maschine und KSSE-Kreislauf zu desinfizieren und Ablagerungen zu beseitigen.

1.4. Zusammenfassung

Bereits die gesetzlichen Vorgaben, ebenso wie die verbindlichen Richtlinien zeigen, dass die Überwachung und Pflege von Kühlschmierstoff-Emulsionen ein ganz heißes Thema ist. Wer hier die Zügel schleifen lässt, verbrennt nicht nur bares Geld, sondern setzt sich zudem der Gefahr von Schadenersatzforderungen aus.

Hauterkrankungen bei Mitarbeitern sind eine ernst zu nehmende Ursache für Berufsunfähigkeit und die unkontrollierte Besiedlung der KSSE mit pathogenen (krankmachenden) Keimen kann schlagartig die komplette Bedienmannschaft für Wochen ausfallen lassen.

Die vorgeschriebene Überwachung der KSSE dient daher nicht nur zur Absicherung des Unternehmers gegenüber ungerechtfertigten Schadenersatzansprüchen. Sie ist vor allem auch das wichtigste und wertvollste Frühwarnsystem, das Sie haben.

In den folgenden Kapiteln werde ich Ihnen zeigen, wie Sie mit wenig Aufwand Einfluss auf den Zustand Ihrer KSSE nehmen können und dadurch Zeit und Kosten sparen.

2. Wie altert eine Kühlschmier-Emulsion?

Die KSSE hat eine ganze Reihe von elementar wichtigen Aufgaben. Sie kühlt, schmiert und transportiert Späne aus dem Bearbeitungsbereich. Zudem benetzt sie die Maschine und die Werkstücke mit einem Ölfilm, der die empfindlichen Metalloberflächen vor Korrosion schützt. Viele Bearbeitungsschritte (Gewindeschneiden, Bohren, Reiben etc.) sind ohne eine geeignete KSSE nicht durchführbar; schon gar nicht in einem stabilen, automatisierten Prozess.

Die Kühlschmierstoff-Emulsion ist also ein flüssiges Werkzeug und verdient entsprechende Beachtung.

Die oben genannten Aufgaben können nur erfüllt werden, wenn die verschiedenen Komponenten und Additive der KSSE präzise aufeinander abgestimmt ihren Zweck erfüllen.

Es liegt jedoch in der Natur der Sache, dass eine Vielzahl von Faktoren dazu geeignet ist, dieses Gleichgewicht außer Balance zu bringen.

- Temperaturen bis über 500°C an der Schneide,
- Drücke im Bereich von über 1000 bar am Span
- chemische und mechanische Verunreinigungen aus Werkzeugabrieb und Werkstoff,
- Besiedlung mit Bakterien und Pilzen
- Reaktion mit Luftsauerstoff
- Eintrag von Stäuben und Fremdstoffen aus dem Zerspanungsprozess und der Umgebung.

2.1. Chemische Verunreinigung

Hier denkt jeder zunächst an Gleitbahnöle, die bei praktisch allen modernen Werkzeugmaschinen in großzügiger Menge durch die Zentralschmierung gepumpt werden und sich damit früher oder später im Bearbeitungsraum – und damit in der Emulsion - wiederfinden.

Eine Verschlechterung der Emulsion durch Fremdöle lässt sich allgemein jedoch sehr gut in den Griff bekommen, indem man möglichst alle an der Maschine eingesetzten Schmierstoffe von demselben Hersteller bezieht. Da das Gleitbahnöl und die Grundöle der Emulsion sehr ähnliche Anforderungen zu erfüllen haben, stören sie sich gegenseitig nur dann,

wenn sie unterschiedliche chemische Ansätze verfolgen. Daher stimmen die großen Schmierstoffhersteller die einzelnen, an einer Maschine eingesetzten Öle so aufeinander ab, dass ein Eintrag in die KSSE normalerweise ohne nennenswerte (und sichtbare) Folgen bleibt. Der Bruch eines Hydraulikschlauches oder andere außergewöhnliche Fremddöleinträge fallen natürlich nicht mehr unter "normalerweise" und erzwingen in aller Regel einen Austausch der KSSE.

Weitere chemische Verunreinigungen kommen aus dem Wasser, mit dem die KSSE angemischt, bzw. die Verdunstungsverluste ausgeglichen werden. Eine hohe Wasserhärte kann dabei eine KSSE ebenso unbrauchbar machen, wie die Anreicherung von Nitraten. Die Nitratbelastung des Trinkwassers ist durchaus ein Thema, auch wenn die Grenzwerte (50 mg/l) eingehalten werden. Werden Brauchwasserbrunnen genutzt, sollten die Nitratwerte unbedingt regelmäßig geprüft werden (Teststreifen), um teuren Überraschungen vorzubeugen.

Hier hilft der Einsatz von vollentsalztem Wasser, wobei darauf zu achten ist, dass der Kalkgehalt nicht zu stark absinkt. Die Herstellerangaben des Kühlschmierstofflieferanten sind dabei zu beachten, wenn man in seinen Maschinen kein Schaumbad anmischen möchte. Bei den meisten KSSE kann man einen geringen Kalkgehalt aber problemlos mit einem geeigneten Entschäumer-Additiv kompensieren, was der Maschinensauberkeit zugute kommt (keine Kalkseifen, weniger Ablagerungen).

Ein weiterer chemischer Eintrag findet aus bestimmten Werkstoffen statt, die unter Umständen Salze an das Wasser abgeben können. Dieser Einfluss ist bei üblichen Werkstoffen jedoch minimal und spielt für die KSSE-Lebensdauer daher nur eine untergeordnete Rolle. Dies kann sich jedoch schlagartig ändern, wenn der pH-Wert und/oder der elektrische Leitwert der Emulsion unzulässig stark von den Herstellervorgaben abweicht. Dann werden durchaus erhebliche Menge an Werkstoffbestandteilen chemisch aufgelöst und wandern in Form von wasserlöslichen Salzen in die KSSE.

Nicht zuletzt kann auch das Bedienpersonal eine Quelle für chemische Verunreinigung sein. Dass unzufriedene Mitarbeiter in die Emulsion pinkeln, oder die eine oder andere Flasche Cola hineinschütten, kommt weit häufiger vor, als man wahr haben möchte.

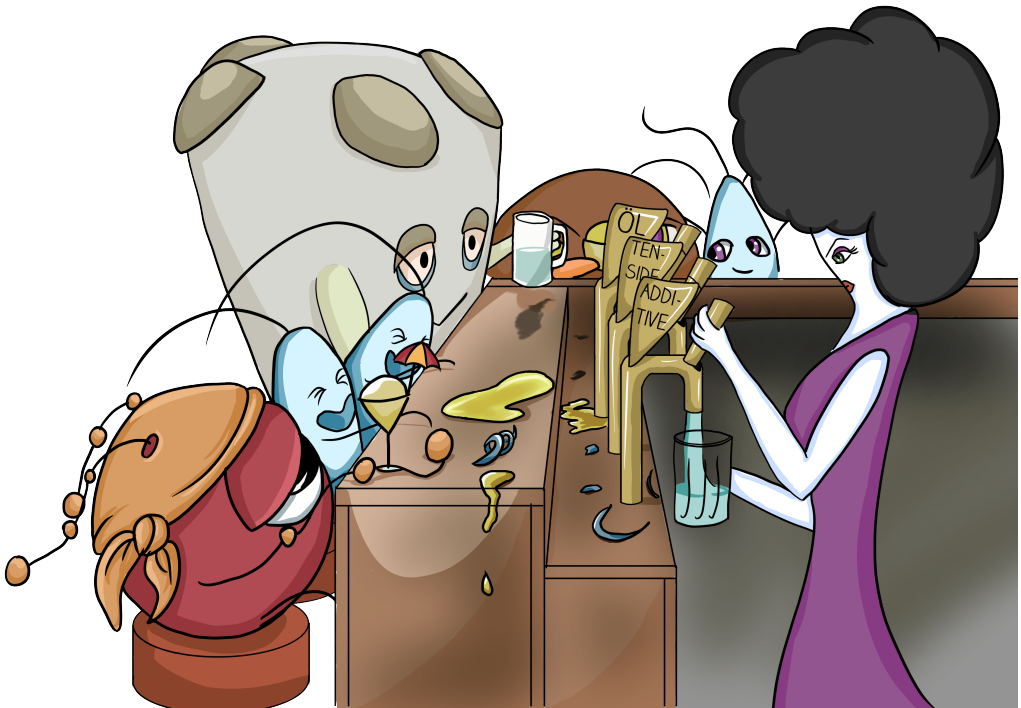
Was können Sie tun?

Allen chemischen Verunreinigungen ist gemeinsam, dass es derzeit (und auf absehbare Zeit) keine praktikablen Verfahren gibt, um diese wieder aus der KSSE zu entfernen.

Hier hilft nur Vorbeugung (wie z.B. der Einsatz von vollentsalztem Wasser als Verdunstungsausgleich) und die sorgfältige Abstimmung aller an einer Maschine eingesetzten Betriebsstoffe aufeinander.

Lassen Sie sich am besten von Ihrem Lieferanten die Verträglichkeit der eingesetzten Betriebsstoffe untereinander bestätigen!

2.2. Biologische Verunreinigung



Bakterien, Pilzsporen und Hefen sind in unserer Umgebung immer und überall vorhanden. Die BGI 762 nennt hier Konzentrationen zwischen 500

und 10.000 Keimen pro Kubikmeter Luft, die natürlich auch in die KSSE eingetragen werden.

Von diesen Keimen ist nur ein Teil in der Lage, in einer KSSE zu überleben, und von diesen wiederum ist auch nur ein geringer Bruchteil für den Menschen schädlich.

In rein ölbasierten Kühlschmierstoffen (ohne Wasseranteil) spielt die mikrobiologische Besiedlung eine untergeordnete Rolle.

Also Entwarnung?

Mitnichten!

Alle in einer KSSE lebenden Mikroben ernähren sich von den Bestandteilen der Flüssigkeit und scheiden eine Vielzahl von Stoffwechselprodukten aus. Dadurch verändern sie die Eigenschaften der KSSE bis hin zur Unbrauchbarkeit.

Wie schnell dies vonstatten geht, hängt wiederum von einer ganzen Reihe von Faktoren ab:

- Temperaturen zwischen 30° und 40°C fördern das Bakterienwachstum extrem (vgl. auch TRGS 611)
- Temperaturen um die 28°C sind für Hefepilze ideal
- Schwefel (aus Automatenstählen) und andere Legierungsbestandteile wirken auf manche Kulturen regelrecht als Düngemittel
- Feine, zerklüftete Partikel (auch und besonders unter 25 µm) bieten sich als Substrat für Kolonien an.
- Aufschwimmendes Öl (Entmischung) oder ungünstige Medienführung (mit Zonen geringer Durchmischung, zerklüfteten Leitungen usw.) führt zu Luftabschluss und schaltet die Mikroben auf anaeroben¹ Stoffwechsel um. Dieser erzeugt drastisch mehr schädliche Abbauprodukte (Säuren, Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Alkohole usw.), als der aerobe Stoffwechsel (überwiegend CO₂ und Wasser).
- Anaerobe Stoffwechselprodukte sind wiederum Dünger für aerobe Stoffwechselvorgänge an anderen Stellen der Anlage oder nach Durchmischung.
- Einige Bakterien bilden sogenannte Biofilme. Das sind schleimige bis gallertartige Beläge, mit denen sich die Bakterien umgeben, um sich vor Wegspülen und chemischen Angriffen zu schützen. Diese Biofilme verstopfen Schläuche, Armaturen und Kühlkanäle. Insbesondere in Verbindung mit feinen Spänen können diese Biofilme sehr stabil werden was oftmals teure und aufwendige Reparaturen und Reinigungsarbeiten nach sich zieht.

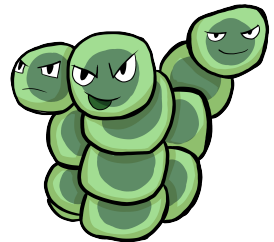
¹ anaerob = unter Sauerstoffabschluss / Sauerstoffmangel

- Biozide bekämpfen entweder Hefen **oder** Bakterien. Desinfektionsmittel, die ohne Austausch der KSSE beide Mikrobenarten gleichermaßen abtöten, sind derzeit nicht verfügbar bzw. zugelassen. Da sich Bakterien und Pilze zumindest bis zu einem bestimmten Grad gegenseitig im Zaum halten, kann die Bekämpfung der einen Mikrobenart dazu führen, dass sich die jeweils andere anschließend explosionsartig vermehrt. Zudem sind die Reste der abgetöteten Mikroben ideales Futter, damit die Überlebenden rasch wieder zu Kräften kommen.

Wie können Sie eine übermäßige mikrobiologische Besiedlung erkennen?

Folgende Indikatoren sind ein sicheres Zeichen für eine unzulässig starke Besiedlung der KSSE und erfordern sofortiges Handeln, um eine Gefahr für Bediener und Anlagen zu minimieren:

- Schleimige oder glibbrige Ablagerungen oder "Ölaugen", die auf der Emulsion schwimmen, können sowohl auf Pilze, als auch auf Bakterien hinweisen
- schwarze oder farbige "Ölaugen" oder Ablagerungen, obwohl keine Werkstoffe bearbeitet wurden, die solche Farben absondern, sind meist ein Hinweis auf Schimmelpilze, können aber auch auf Bakterien hinweisen.
- ein alkoholischer oder pilziger Geruch ("vergammelter Weinkeller") weist auf eine starke Besiedlung mit Hefen oder Schimmel hin
- mattenartige, mehr oder weniger zusammenhängende Strukturen, die Siebe verstopfen, sind ein typisches Zeichen für Schimmelpilze
- fadenförmige Strukturen an Düsen, Sieben oder in Schläuchen sind ein Zeichen für Fadenpilzbefall und erfordern eine gründliche Desinfektion und Reinigung der gesamten Anlage, insbesondere auch sämtlicher Schlauch- und Rohrleitungen.
- schleimige Ablagerungen oder aufschwimmende "Ölaugen", die Fäden ziehen, deuten in der Regel auf Bakterien hin
- Ein Geruch nach faulen Eiern oder stechend (nach Ammoniak) riechende Ausdünstungen werden meist von Bakterien verursacht
- ein Auswandern des pH-Wertes kann sowohl von Bakterien wie auch von Pilzen verursacht werden
- akute Hautveränderungen oder Atembeschwerden bei den Maschinenbedienern können ebenfalls von Bakterien oder Pilzen verursacht werden; sie können aber auch eine Folge von



unsachgemäßem Biozideinsatz oder chemischen Verunreinigungen (Legierungsbestandteile der Werkstoffe) sein.

Was können Sie tun?

Der Einsatz von Bioziden (unter strikter Beachtung der Herstellervorschriften), Belüftung und häufiger Austausch der Emulsion im Zusammenhang mit einer gründlichen Systemreinigung sind derzeit übliche Maßnahmen, um den mikrobiologischen Befall der KSSE unter Kontrolle zu halten.

Hierbei ist zu beachten, dass die verfügbaren bzw. zugelassenen Biozide nur entweder gegen Bakterien *oder* Pilze wirken.

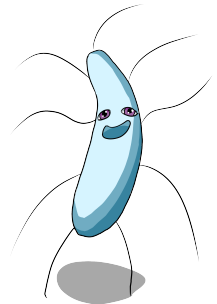
Je nach Art des Befalls müssen also unterschiedliche Mittel zum Einsatz kommen. Zudem können sich Resistenzen gegen häufig eingesetzte Desinfektionsmittel entwickeln.



Auch können sich einige Bakterienarten innerhalb von 24 Stunden auf das 10^{14} -fache (etliche Billionen!) vermehren. Das heißt, dass bereits ein paar Dutzend nach einer Grundreinigung überlebende Bakterien eine Maschine bis zum nächsten Abend schon wieder vollständig besiedeln können.

Aktuell ist zu erwarten, dass etliche Desinfektionsmittel mit Inkrafttreten (bzw. Auslaufen der Übergangsfristen) der neuen Biozid-Richtlinie EU 528/2012 nicht mehr verfügbar sein

werden, oder nicht mehr im Kontakt mit Personen eingesetzt werden dürfen. Zudem sind verschärfte Richtlinien im Umgang mit diesen Stoffen zu erwarten.



Bandfilteranlagen und Ölskimmer können unter Umständen ebenfalls die Symptome etwas lindern, sind aber völlig ungeeignet, die Ursachen wirksam zu bekämpfen.



Was sollten Sie auf keinen Fall tun?

In der Wasserentkeimung werden häufig UV-C Lampen eingesetzt, um Bakterien und Pilze zu vernichten. Rein theoretisch würde das auch in einer KSSE funktionieren, doch in der Praxis führt diese Idee geradewegs in die

Katastrophe. Die hoch aggressive UV-C Strahlung zerstört nämlich nicht nur Bakterien und Mikroben, sondern in gleicher Weise auch die Inhaltsstoffe der Kühlschmiermittel und damit auch die Anlage selbst. Zudem ist UV-Licht gegen die allgegenwärtigen Schwarzsimmel (z.B. Aspergillus Niger) unwirksam.

Was wirklich hilft:

Neben der Auswahl der geeigneten KSSE und Hilfsstoffe ist die Mikrofiltration (1,0 μm) die derzeit wirksamste Methode, um das Problem schnell und gründlich an der Wurzel zu packen. Der überwiegende Teil der Bakterien ist größer als 1 μm , ebenso alle bekannten Hefezellen (5 – 10 μm) und Schimmelpilze und andere Mehrzeller (> 10 μm). Zudem werden durch Mikrofiltration den Mikroben die Substrate entzogen, auf denen sie sich ansiedeln können. Damit kann auch der Einsatz von Bioziden auf ein Minimum reduziert oder ganz darauf verzichtet werden.



Wenn Sie wissen wollen, wie die Lösung für Ihre konkrete Situation aussehen kann, fordern gleich jetzt eine kostenlose und unverbindliche Beratung bei Ihnen vor Ort an:

filter@idv-engineering.de

Tel.: 08621 90345-40

2.3. Mechanische Verunreinigung (Partikel)

Es liegt in der Natur der Sache, dass bei Zerspanungsvorgängen Späne entstehen. Diese sind zum überwiegenden Teil relativ groß, sinken in der KSSE ab und werden vom Späneförderer aus dem Bearbeitungsraum ausgetragen.

Ein geringerer Teil des abgetragenen Materials fällt jedoch in Form von Stäuben bzw. Schlamm an. Diese können kristalline Struktur haben, die Form von Nadeln, Spiralen oder Locken (z.B. beim Feinschlichten, Schleifen oder Polieren) oder mehr oder weniger zerklüftete, unförmige Brocken sein (Gussbearbeitung, Automatenstähle).

Diese Feinstäube ($< 25 \mu\text{m}$) haben gleich eine ganze Reihe von höchst unangenehmen Eigenschaften:

- Die **Oberfläche** im Verhältnis zum Volumen steigt mit abnehmender Größe quadratisch an; d.h. ein Partikel mit $2 \mu\text{m}$ hat ein 100-fach größeres Oberflächen-Volumenverhältnis, als ein $20 \mu\text{m}$ Partikel. Damit sind sie auch **chemisch 100-fach wirksamer**, was vor allem bei Kupferlegierungen einen fatalen Einfluss auf die chemische Stabilität der KSSE haben kann. Dies bedeutet, dass 20 g Partikel mit $2 \mu\text{m}$ dieselbe zerstörerische Wirkung haben, wie 2.000 g Partikel mit $20 \mu\text{m}$.
- Werden Legierungen mit **giftigen, krebserregenden** oder anderweitig problematischen Bestandteilen verarbeitet (Kobalt, Beryllium, Blei usw.), müssen hier zusätzliche Grenzwerte eingehalten und überwacht werden. Sofern die KSSE aufgrund erhöhtem Gehalt an giftigen Feinschlamm frühzeitig entsorgt werden muss, handelt es sich hierbei immer um toxischen Sondermüll, der immense Kosten verursachen kann. Zudem nimmt die Giftwirkung dieser Metalle mit abnehmender Teilchengröße stark zu, da sie leichter in den Organismus (z.B. auch in die Haut) gelangen können und dort eine stärkere Wirkung entfalten. Als in die Haut eingedrungene Mikropartikel kann sogar Kupfer eine erhebliche Giftwirkung entfalten.
- Viele **Werkzeugstähle**, aber auch bestimmte Aluminiumlegierungen enthalten Silizium oder Titan als Legierungsbestandteil. Titan wird in der Stahlschmelze zu Titanocarbide-Kristallen, Silizium zu Siliziumcarbide (in Stahl) bzw. zu Siliziumdioxid (in Alu). All diesen Stoffen ist gemeinsam, dass sie extrem harte, sehr kleine Kristalle bzw. Glassplitter bilden, die aufgrund ihres geringen spezifischen Gewichtes in der KSSE in der Schwebe bleiben und weder von

Magnetabscheidern, noch von Band- oder Trommelfiltern erfasst werden können.

Sie haben aber allesamt extrem gute abrasive² Eigenschaften bei maximaler Härte, so dass eine erhöhte Konzentration den Werkzeugverschleiß rapide ansteigen lässt und je nach Bearbeitungsverfahren auch die Werkstückoberflächen sichtbar beeinträchtigt.

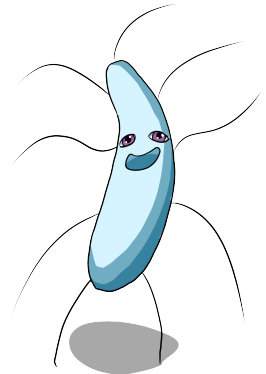
- Bei der **Gussbearbeitung** sind oft erhebliche Mengen an Formsandrückständen in der Materialoberfläche enthalten, die bei der Bearbeitung freigesetzt werden. Diese bestehen ebenfalls aus extrem kleinen, sehr harten Mineralien (z.B. Quarz), die leicht genug sind, um dauerhaft in der Schwebelage zu bleiben und klein genug, um Bandfilteranlagen, Magnetabscheider, Skimmer und Zentrifugen weitgehend unbehelligt zu passieren.
- **Eisenguss** setzt bei der Bearbeitung Unmengen an Zementit- und Kohlenstoff-Stäuben frei, welche durch ihr enormes Oberflächen-Volumen-Verhältnis ebenfalls sehr lange in der Schwebelage bleiben und zudem durch ihre zerklüftete Struktur ein ideales Anzuchtsubstrat für eine Vielzahl von Bakterien und Pilzen sind.
- Besonders **kleine Partikel** (ab ca. 8 µm und kleiner, je nach spezifischem Gewicht des Werkstoffs) führen zur Entmischung der Emulsion, indem Sie sich mit einem Ölfilm umgeben und bei Kollision mit weiteren Partikeln zu immer größeren Öltröpfchen zusammenfinden, die schließlich aufschwimmen.

Die Entmischung von Emulsionen ist also vorrangig auf das Vorhandensein kleiner und kleinster Partikel zurückzuführen und nur in wenigen Fällen auf den Eintrag von Fremddölen.

Was wird allgemein empfohlen?

Bandfilteranlagen, gleich in welcher Ausführung lösen die Problematik augenscheinlich nicht. Durch den verschwindend geringen Differenzdruck von max. 50 mbar am Filtervlies muss dieser – allein schon wegen der Kapillarwirkung der KSSE – so grob sein, dass die Bandfilteranlage allenfalls als Pumpenschutzsieb arbeiten kann.

Partikel von weniger als 25 µm werden heute von keiner mir bekannten Bandfilteranlage zuverlässig erfasst, sind jedoch für so gut wie alle Probleme in der KSSE-Pflege zumindest mitverantwortlich.



² abrasiv = schleifend, abtragend

Auch die Ausfiltration von einzelligen Mikroben (unter 10 µm) ist auf diesem Wege unmöglich.

Was wirklich hilft:

Neben der Auswahl der geeigneten KSSE und Hilfsstoffe ist eine Mikrofiltration (1,0 µm) die derzeit wirksamste Methode, um das Problem schnell und gründlich an der Wurzel zu packen. Gleichzeitig wird durch Mikrofiltration die Entstehung von Ablagerungen und Verkrustungen unterbunden.

Wenn Sie wissen wollen, wie die Lösung für Ihre konkrete Situation aussehen kann, fordern gleich jetzt eine kostenlose und unverbindliche Beratung bei Ihnen vor Ort an:

filter@idv-engineering.de

Tel.: 08621 90345-40



2.4. Chemische Zersetzung

Chemisch und physikalisch wirksame Substanzen können sich verändern und dadurch ihre Eigenschaften verlieren oder Eigenschaften erhalten, die unerwünscht sind. Dies gilt in ganz besonderem Maße für Kohlenwasserstoffe, aus denen KSSE neben Wasser nun einmal bestehen.

Sowohl das Grundöl, als auch die Emulgatoren und die anderen Additive sind relativ komplexe und nicht allzu stabile Moleküle, die sowohl chemisch, thermisch, als auch biologisch angegriffen werden können. Sie sind mit wenigen Nanometern (1 nm = 1/1000 µm) klein genug, um den Bearbeitungsprozess relativ unbeschadet zu überstehen und beinahe jede Art von Filtern mühelos zu passieren. Sie sind aber eben auch klein genug, um von Bakterien, Hefen und Pilzen aufgenommen und verdaut werden zu können.

Thermisch bedingte Zersetzung:

Vorrangig im Spanbildungsprozess an der Werkzeugschneide treten Temperaturen bis über 500°C auf, mit denen der Kühlschmierstoff zwangsläufig in Berührung kommt. Aber auch in der Umgebung des

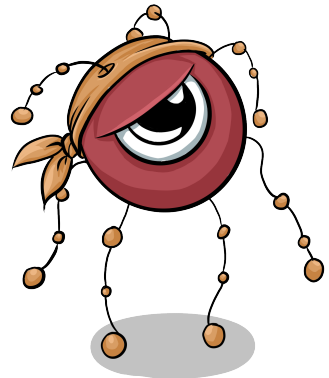
Werkzeuges treten noch hohe Temperaturen auf, bis schließlich Werkstück, Schneide und Späne abgekühlt sind. Inwieweit diese kurzzeitigen Temperaturbelastungen zu einer Zersetzung der KSSE führen, hängt dabei ganz erheblich von den übrigen Umgebungsbedingungen ab.

Je mehr katalytisch wirksame Stoffe (Kupfer, Schwefel u.A.) vorhanden sind, desto schneller und großräumiger läuft ein solcher Zersetzungsprozess ab. Dabei spielen gerade auch feinste Partikel in der KSSE eine entscheidende Rolle.

Biologisch bedingte Zersetzung:

Bakterien und Pilze scheiden Enzyme aus, die komplexe Moleküle in ihrer Umgebung aufbrechen und als Nährstoffe zur Verfügung stellen. Aber auch Stoffwechselprodukte der Mikroben (z.B. Säuren, Ammoniak, Schwefelwasserstoff u.A.) können die Bestandteile der KSSE chemisch verändern und damit zerstören.

Der erste Prozess läuft verstärkt bei aeroben Prozessen ab (gute Durchlüftung), letztere vorrangig und mit enormer Intensität unter anaeroben Bedingungen (Luftabschluss).



Oxidative Zersetzung:

Der Kontakt mit Luftsauerstoff führt bei fast allen Kohlenwasserstoffen zu langsamen Abbauprozessen. Dies gilt natürlich auch für KSSE, wobei auch hier wieder die Anwesenheit von Mikroben und katalytisch wirksamen Partikeln entscheidenden Einfluss darauf hat, wie schnell dieser Prozess vorstatten geht. Zudem steigt die Reaktionsgeschwindigkeit mit zunehmender Temperatur exponentiell an.

Strahlungsbedingte Zersetzung:

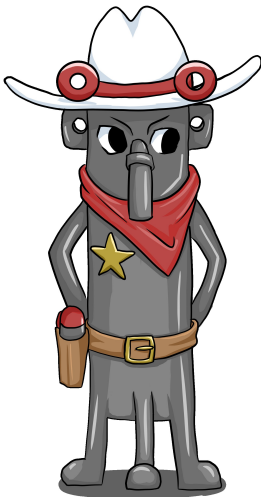
UV-Strahlung ist nicht nur im Sonnenlicht enthalten, sondern auch im Spektrum der meisten modernen Lampen. Bei normalen Beleuchtungsverhältnissen nimmt ein ordentlich formulierter Kühlschmierstoff keinen Schaden; konzentriertes UV-Licht zerstört aber in kurzer Zeit so gut wie jedes Kühlschmiermittel.

Was können Sie tun?

Neben der Auswahl der auf Maschine und Bearbeitungsprozess optimal abgestimmten Kühlschmierstoff-Emulsion ist die Überwachung und notfalls auch Regelung der Temperatur sowie die Überwachung des pH-Wertes der Schlüssel zu einer stabilen KSSE und damit zu einem stabilen Produktionsprozess.

Eine zunehmende Veränderung des pH-Wertes zeigt zwar letztendlich nur noch an, dass die KSSE nunmehr getauscht werden muss. Die regelmäßige Überwachung ist jedoch vorgeschrieben und beugt Folgeschäden an Maschine und Produkt vor. Zudem schützen Sie Ihre Mitarbeiter vor vermeidbaren Gesundheitsgefahren.

Auch die Abdeckung des KSSE-Vorrates gegen intensives (Sonnen-)Licht hilft ebenfalls, die Alterung zu verlangsamen. UV-C-Lampen, die gegen Bakterien helfen sollen, richten nach meinen Erfahrungen maximalen Schaden bei nicht messbarem Nutzen an, da sich Mikroben meist in Ablagerungen und in "toten Ecken" ansiedeln und dort nur erreicht werden können, wenn man die Ablagerung von Schlamm wirksam unterbindet.



Was wirklich hilft:

Eine wirksame Mikrofiltration (1,0 µm) kann zwar die chemischen Zersetzungsprozesse nicht stoppen, ihn aber durch das Entfernen von katalytisch wirksamen Partikeln und aggressiven Mikroben erheblich verlangsamen. Außerplanmäßige Wechsel der KSSE werden damit überflüssig und erhebliche Standzeitverlängerungen bei verbesserter Qualität möglich.

Wenn Sie wissen wollen, wie die Lösung für Ihre konkrete Situation aussehen kann, fordern gleich jetzt eine kostenlose und unverbindliche Beratung bei Ihnen vor Ort an:



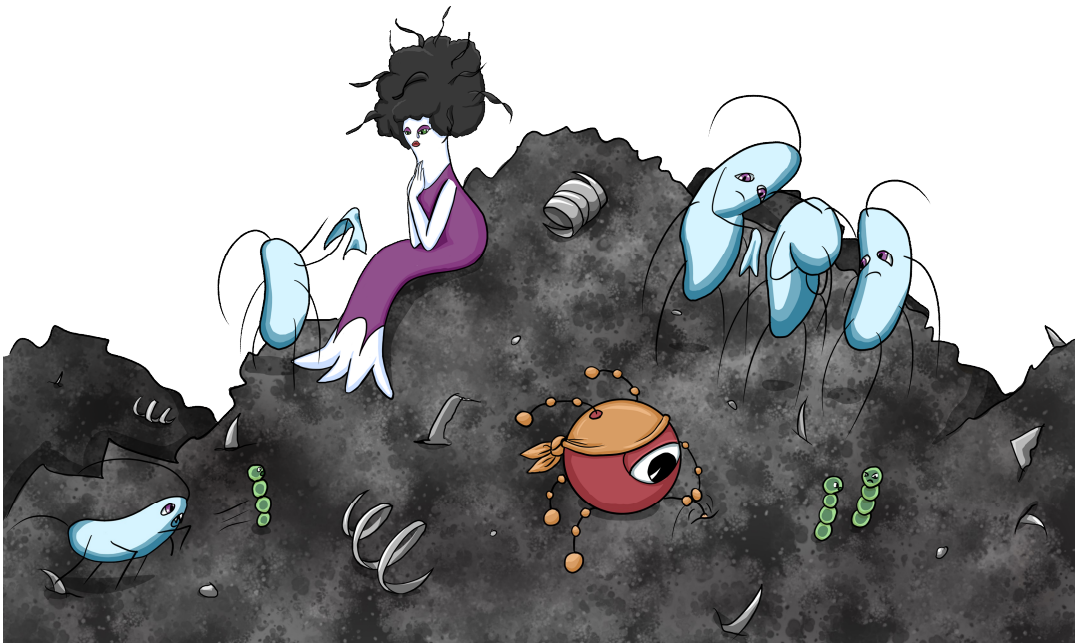
3. Die VDI 3397-2: Kühlschmierstoffpflege

Das Problem der KSSE – Pflege ist so alt wie die Kühlschmierstoffe selbst. Dementsprechend werden inzwischen eine Vielzahl von Geräten angeboten, die für die Pflege von KSSE vorgesehen sind.

3.1. Absetzbecken

Das absolute Muss an jeder KSSE-Anlage. Indem man die Emulsion durch ein dreidimensionales Labyrinth schickt, sorgt dieses dafür, dass sowohl aufschwimmende, als auch absinkende Teile aus dem Medienstrom entfernt werden.

Auf diese Weise schützt man die Pumpen vor übermäßiger Verschmutzung und groben Spänen.



Grenzen:

Partikel und Mikroben, die sich nicht oder nur sehr langsam absetzen, passieren ein Absetzbecken völlig ungehindert. Auch Kunststoffspäne werden von solchen Einrichtungen kaum wirksam abgefangen. Wie gut ein solches Absetzbecken letztlich funktioniert, hängt sowohl von der Konstruktion, als auch von der Art der Verschmutzung ab. Eine regelmäßige Wartung (Reinigung) ist unabdingbar. Ein Absetzbecken taugt also vorrangig als Pumpenschutz.

3.3. Hydrozyklone

Hydrozyklone nutzen das Fliehkraftprinzip, um Feststoffe aus Flüssigkeiten abzuscheiden. Sie können enorme Schmutzmengen aus einer Flüssigkeit entfernen und arbeiten kontinuierlich und wartungsarm.

Grenzen:

Partikel und Mikroben, die sich nicht oder nur sehr langsam absetzen passieren ein Hydrozyklon weitgehend ungehindert, da nur feste Stoffe abgeschieden werden können, die eine erheblich höhere Dichte aufweisen, als die KSSE. Auch Kunststoffspäne passieren solche Einrichtungen ziemlich mühelos und in erheblichen Mengen. Ein Hydrozyklon dient also vorrangig als Pumpenschutz oder als Vorfilter, wenn große Mengen Grobschmutz anfallen.

3.2. Bandfilteranlagen

Bandfilteranlagen sind als Flachbandfilter (Stauhöhe ca. 50 – 100 mm), Tiefbandfilter (Stauhöhe bis 500 mm) und Trommelbandfilter (Stauhöhe bis 500 mm) auf dem Markt. Unbestreitbare Vorteile sind die ungeheuren Schmutzmengen, die ein solcher Filter im kontinuierlichen Betrieb aus der KSSE entfernen kann, ebenso die Belüftung und Durchmischung des Mediums.

Grenzen:

Allen Bandfilteranlagen gemeinsam ist, dass sie als Schwerkraftfilter arbeiten, also nur die Stauhöhe nutzen können, um die KSSE durch das Filtermedium zu pressen. Daraus resultiert ein Druck von gerade einmal 5 – 50 mbar (je nach Bauform), der in der Praxis eine Porengröße der Filtermatte von weniger als 25 µm nicht zulässt, da ansonsten bereits die Kapillarkräfte der KSSE ausreichen, um des Filtervlies weitgehend unpassierbar zu machen.

Damit werden zwar die nachgeschalteten (Hochdruck-)Pumpen geschützt; eine wirksame Pflege der KSSE ist jedoch unmöglich, da weder die für die Entmischung und Schlamm bildung verantwortlichen Feinstäube, noch Bakterien und Pilze aus der KSSE entfernt werden können. Zudem haben Bandfilteranlagen meist keine 100%ige Sperrfeinheit, so dass auch immer wieder größere Späne (bis über 1 mm) den Filter passieren können. Ein weiterer Nachteil ist neben den hohen Kosten die vergleichsweise große Stellfläche, die eine solche Anlage benötigt. Zudem reicht die Filterfeinheit in aller Regel nicht aus, um die teils sehr feinen Kühlkanäle in Innengekühlten Werkzeugen vor Verstopfungen und damit vor frühzeitigem Bruch zu schützen.

Die zumeist großflächig offene Bauweise erhöht außerdem die Verdunstung des Wasseranteils und sorgt für unerwünschte Aerosolbildung und Tröpfchenaustrag in die Umgebung.

3.3. Magnetabscheideanlagen

Diese Abscheider nutzen Magnete, um Partikel aus der KSSE zu entfernen. Sie arbeiten zumeist kontinuierlich und können alle Korngrößen bis hin zu winzigen Partikeln gleichzeitig erfassen.

Grenzen:

Sie funktionieren nur mit ferromagnetischen Werkstoffen. Bereits nichtmagnetische Legierungsbestandteile, die in kristalliner Form vom Hauptwerkstoff getrennt vorliegen, können nicht mehr erfasst werden. Hierzu zählen vorrangig Formsande, Titankarbide, Siliziumkarbide und Siliziumoxide. Diese sind jedoch aufgrund ihrer Härte und Abrasivität³ hochproblematisch.

Auch die meisten Edelstähle, Graphit sowie Aluminium und Buntmetalle können von Magnetabscheidern grundsätzlich nicht erfasst werden.

3.4. Ölskimmer

Um "Fremdöle" aus der Emulsion abzuscheiden, werden verschiedene Ölskimmer angeboten. Von der einfachsten Ausführung als Bandskimmer (umlaufendes Band an dem das Öl hängen bleibt und dann abgestreift

³ abrasiv = schleifend, abtragend

wird) über Scheibenskimmer bis hin zu teuren und aufwändigen Kammer- oder Tellerseparatoren reicht hier das Spektrum.

Allen Ölabscheidern ist gemein, dass sie aufgeschwommenes Öl relativ gut von der Oberfläche der KSSE abschöpfen und konzentriert in einen Abfalltank befördern. Dadurch kann der Wechsel der Emulsion oft noch eine Weile verzögert werden, ohne dass die Geruchsbelastung überhand nimmt.

Grenzen:

Ölskimmer scheiden aufgeschwommenes (entmischtes) Öl aus der Emulsion ab. Dies ist jedoch nur zu einem kleinen Teil das unerwünschte "Fremdöl", das beispielsweise über die Gleitbahnschmierung in die KSSE gelangt ist.

Durch die in einer intakten KSSE vorhandenen Emulgatoren werden auch die meisten Fremddöle zunächst in feine Tröpfchen verteilt und vermischen sich so untrennbar mit der Emulsion. Erst wenn das Gleichgewicht in der Emulsion gestört wird – sei es durch biologische Abbauprozesse oder übermäßige Partikelbelastung – kollabiert die Emulsion und beginnt, sich zu entmischen.

Das aufschwimmende, mit bakteriellen Abbauprodukten und Schlamm durchsetzte Öl besteht dabei sowohl aus dem Grundöl des KSSE als auch anteilig aus den in der KSSE vorhandenen Fremddölen.

Die Ölskimmer können daher zwar die Folgen einer aufbrechenden Emulsion abmildern, indem sie den Luftabschluss durch eine geschlossene Ölschicht verhindern, sie sind jedoch völlig ungeeignet, um den Ursachen der KSSE – Alterung (Schlamm und mikrobiologische Besiedlung) vorzubeugen.

3.5. Absauganlagen

Diese auch als **mobile Emulsionspflegegeräte** bekannten Apparate saugen die Emulsion an der Oberfläche durch einen Schwimmer ab und leiten diese durch einen Absetztank oder Separator und zumeist auch noch durch einen Filter.

Dadurch wird eine aufgeschwommene Ölschicht ebenso aus der KSSE entfernt, wie auch aufschwimmende Späne (vor allem Kunststoff, Leichtmetall etc.). Sie können daher gealterte KSSE relativ schnell in einen zumindest optisch wieder akzeptablen Zustand bringen und damit anstehende Wechsel der KSSE verzögern.

Grenzen:

Absauganlagen können nur dann effektiv und zuverlässig arbeiten, wenn die Emulsion vor dem Absaugvorgang längere Zeit ruhen konnte. Sie erfordern daher fast immer einen Maschinenstillstand und einen nicht unerheblichen Zeitaufwand für die Handhabung des Gerätes selbst. Zudem führt der Einsatz einer solchen Anlage unweigerlich zu einer Verschleppung von Mikroben zwischen den einzelnen Maschinen, was die schnelle Besiedlung neu angemischter KSSE begünstigt.

Gegenüber kontinuierlich arbeitenden Pflegesystemen können Absauganlagen immer nur kurzzeitig den weiteren Abbau der KSSE verzögern.

Auch saugen sie die Emulsion nur an der Oberfläche an und können somit am Grund des Behälters abgesetzten Schlamm nicht erfassen. Diese aggressive Mischung aus Mikroben und Schlamm wird beim Betrieb der Maschine zwangsläufig aufgewirbelt und gelangt so immer wieder in den Kreislauf. Dazu kommen noch meist sehr hohe Kosten für eine solche Anlage und der nicht unerhebliche Wartungs- und Bedienungsaufwand.

3.6. Rückspülbare Druckfilter

Hierbei wird die KSSE durch ein feines Drahtnetz oder Glasfaser-Filter gepresst. Sobald der Filter verstopft ist, wird der Schmutz wieder ausgespült, getrennt erfasst und entsorgt und der Filter steht wieder zur Verfügung.

Grenzen:

Speziell in der Zerspanung liegt die Verschmutzung fast immer in Form von scharfen und extrem unregelmäßigen Partikeln, Bändern, Nadeln und Spiralen vor, die sich im Filter verhaken können (und dies auch oft und gerne tun). Damit funktioniert der Rückspülvorgang auf Dauer nicht zuverlässig, was eine hohe Filterfeinheit praktisch ausschließt.

Der Vorteil des einstellbaren Differenzdruckes kann daher nicht wirklich für eine hohe Filterfeinheit genutzt werden. Zudem sind solche Filter aufgrund des aufwendigen Filtereinsatzes und der erforderlichen Pumpen und Ventile für die Rückspülung verhältnismäßig teuer und wartungsintensiv.



3.7. Druckfilter mit Einweg-Patronen⁴

Hier wird die KSSE durch einen preiswerte Filtereinsatz gepresst, der bei Erreichen des entsprechenden Differenzdruckes entnommen und wie ein gebrauchtes Bandfilter-Band ganz einfach entsorgt werden kann.

Grundsätzlich sind hier – je nach Auslegung – alle gewünschten Filterfeinheiten bis hin zur Mikrofiltration möglich; bei entsprechender Dimensionierung können auch Mikroben und feinste Partikel zuverlässig aus der KSSE entfernt werden. Zudem können solche Filter sehr platzsparend aufgebaut werden.

Bei sachgemäßer Auslegung sind Filterstandzeiten von 4 Wochen bis über 6 Monaten realisierbar, so dass die Betriebskosten oft geringer liegen, als bei Bandfilteranlagen.

⁴ nicht eigenständig in der VDI-Richtlinie erwähnt

Grenzen:

Dieser Filtertyp arbeitet nicht kontinuierlich, d.h. es ist ein regelmäßiger Wartungseingriff erforderlich.

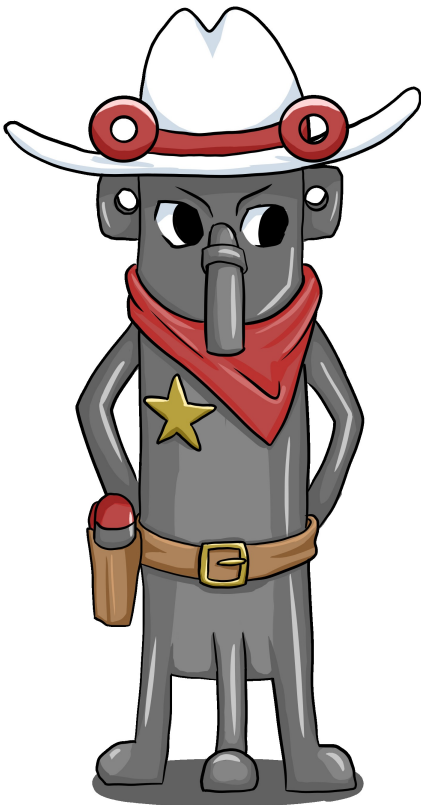
Was können Sie tun?

Wenn Sie wissen wollen, wie die Lösung für Ihre konkrete Situation aussehen kann, fordern gleich jetzt eine kostenlose und unverbindliche Beratung bei Ihnen vor Ort an:



filter@idv-engineering.de

Tel.: 08621 90345-40



4. Literaturnachweis

- Richtlinie DGUV 109-003 "Tätigkeiten mit Kühlschmierstoffen"
- TRGS 611 "Verwendungsbeschränkungen ..."
- BGI 762 "Keimbelastung wassergemischter Kühlschmierstoffe"
- Richtlinie VDI 3397-2 "Pflege von Kühlschmierstoffen"
- Richtlinie VDI 3397-3 "Entsorgung von Kühlschmierstoffen"
- Richtlinie EU 528/2012 ("Biozid-Richtlinie")
- TRGS 500 bzw. TRBA 500 ("Allgemeine Hygienemaßnahmen ...")
- TRGS 401 "Gefährdung durch Hautkontakt"
- BGI 658 "Hautschutz in Metallbetrieben"
- TRGS 552 "Nitrosamine"
- TRGS 555 "Betriebsanweisung und Information der Beschäftigten"
- TRGS 900 "Arbeitsplatzgrenzwerte"

Weitere Literaturhinweise finden sich in den oben genannten Richtlinien, Informationen und Verordnungen.

Kontaktieren Sie uns:

URL: www.idv-engineering.de/filter

E-Mail: filter@idv-engineering.de

Tel: 08621 90345-40



Der vorliegende Ratgeber wurde nach bestem Wissen und Gewissen sorgfältig erarbeitet und zusammengestellt. Es kann jedoch keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität oder Qualität der bereitgestellten Informationen übernommen werden.

Der vorliegende Ratgeber kann keinesfalls das Studium der einschlägigen Vorschriften und Verordnungen im Original ersetzen. Daher kann für Schäden, die aus der ungeprüften Anwendung dieser Informationsschrift resultieren, keinerlei Haftung übernommen werden.

Texte und Inhalte: © Norbert Fleck 2021, alle Rechte vorbehalten. 4. Auflage

Cartoons: © Inna Hendrich 2017, alle Rechte vorbehalten