Betrieblicher Umweltschutz Baden-Württemberg

Metallbearbeitung

- Schreiner
- Kraftfahrzeuggewerbe
- Maler und Stuckateure
- Druckindustrie und Papierverarbeitung
- Zimmerer
- Bäcker und Konditoren
- Gebäudereiniger
- Rechtsgrundlagen
- Wichtig für alle Branchen

www.umweltschutz-bw.de

Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Der Inhalt dieses PDF-Dokuments ist ein Auszug aus der Internetplattform www.umweltschutz-bw.de mit **Stand vom 26.02.2013**.

Spätere Änderungen finden sich stets aktuell auf der Website selbst. Sie werden in der nächsten PDF-Version dieses Dokuments berücksichtigt.

Im Dokument enthaltene Links führen auf die Plattform www.umweltschutz-bw.de bzw. auf Websites Dritter. Voraussetzung dafür ist eine bestehende Internetverbindung.

Aufgrund technischer Probleme funktionieren manche Links im Moment noch nicht. Wir bitten um Ihr Verständnis. Wir bemühen uns, dieses Problem bis zum nächsten Update zu lösen.

Im Dokument haben wir auf so genannte „Glossarbegriffe“ mit ihren Erklärungen verlinkt. Online funktioniert diese Verlinkung. Da wir aber aus technischen Gründen für den PDF-Download den Glossarteil vom eigentlichen Dokument abtrennen müssen und nur als Anhang zum Download anbieten können, geht diese Verlinkung leider verloren.

Impressum

Herausgeber	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg Kernerplatz 9 70182 Stuttgart
Redaktion	ABAG-itm GmbH, Pforzheim E-Mail: kissler@abag-itm.de
	Roland Schestag Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg Informationszentrum für betrieblichen Umweltschutz (IBU) E-Mail: roland.schestag@um.bwl.de
	Mit Unterstützung des Verbandes des Deutschen Maschinen- und Anlagenbaus Landesverband Baden-Württemberg, Stuttgart E-Mail: jan.sibold@vdma.org
	Südwestmetall Verband der Metall- und Elektroindustrie Baden-Württemberg e.V. E-Mail: walleter@suedwestmetall.de
	Handwerksverband Metallbau und Feinwerktechnik e.V. (HMF) E-Mail: b.pfeffer@metall-verband.de
Umschlaggestaltung	Axel Goehner Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg
Fotos	Das Bildmaterial wurde uns freundlicherweise von den Autoren zur uneingeschränkten Nutzung überlassen.

Haftungsausschluss:

Die Informationen, die Sie in diesem Dokument vorfinden, wurden nach besten Wissen und Gewissen sorgfältig zusammengestellt und geprüft. Es wird jedoch keine Gewähr - weder ausdrücklich noch stillschweigend - für die Vollständigkeit, Richtigkeit, Aktualität oder Qualität und jederzeitige Verfügbarkeit der bereit gestellten Informationen übernommen.

In keinem Fall wird für Schäden, die sich aus der Verwendung der abgerufenen Informationen ergeben, eine Haftung übernommen. Alle Angebote sind freibleibend und unverbindlich. Das Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg behält es sich ausdrücklich vor, Teile oder das gesamte Angebot ohne gesonderte Ankündigung zu verändern, zu ergänzen, zu löschen oder die Veröffentlichung zeitweise oder endgültig einzustellen.

Websites dritter Anbieter/Verweise:

Dieses Dokument enthält auch Verweise auf Websites Dritter. Diese Verweise zu den Websites Dritter stellen keine Zustimmung zu deren Inhalten durch den Herausgeber dar. Es wird keine Verantwortung für die Verfügbarkeit oder den Inhalt solcher Websites übernommen und keine Haftung für Schäden oder Verletzungen, die aus der Nutzung - gleich welcher Art - solcher Inhalte entstehen. Mit den Verweisen zu anderen Websites vermittelt das Wirtschaftsministerium den Nutzern lediglich den Zugang zur Nutzung der Inhalte. Für illegale, fehlerhafte oder unvollständige Inhalte und für Schäden, die aus der Nutzung entstehen, haftet allein der Anbieter der Seite, auf welche verwiesen wird.

Anregung zur Rückmeldung:

Befinden sich aus Ihrer Sicht in diesem Dokument und damit auf unserer Internetseite falsche, veraltete oder unvollständige Informationen? Haben Sie Anregungen und Ideen, wie man die Seite noch informativer und interessanter gestalten könnte? Dann teilen Sie uns dies bitte mit:

Roland Schestag
Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft
Baden-Württemberg
Informationszentrum für betrieblichen Umweltschutz (IBU)
E-Mail: roland.schestag@um.bwl.de
Tel.: 0711/126-2652

Inhaltsvserzeichnis

Metallbearbeitung 2
Hinweise für das Metallhandwerk allgemein 2
Leichtmetallbau 5
Stahlbau und Schlossereien 7
Maschinenbau 9
Werkzeugbau 11
Feinmechanik 14
Produktionsverfahren in metallbearbeitenden Branchen 16
Spanende Bearbeitungsverfahren 17
Erodierverfahren 58
Umformende Bearbeitungsverfahren 66
Verfahren zur Warmumformung von Metallen 78
Reinigen und Entfetten 81
Oberflächen(vor)behandlung 90
Beschichtungsverfahren 103
Fügeverfahren 117
Eloxieren 123
Einsatzstoffe in metallbearbeitenden Branchen 139
Auswahlkriterien für Einsatzstoffe in metallbearbeitenden Branchen 140
Kühlschmierstoffe für die spanende und umformende Metallbearbeitung 142
Schmier-, Getriebe- und Hydrauliköle in metallverarbeitenden Betrieben 176
Reinigungs- und Entfettungsmittel 186
Auswahl von Beschichtungsstoffen 205
Umweltgerechter Einsatz von Hilfsstoffen beim Gleitschleifen 216
Umweltrelevanz von Nebenprozessen 221
Abfallmanagement 222
Abwasserbehandlung 226
Richtiger Umgang mit Gefahrstoffen in metallbearbeitenden Betrieben 232
Lärm in metallverarbeitenden Betrieben 237
Energieeffizienz in der Metallbearbeitung 242
Organisatorische Ansatzpunkte - Energiemanagement auch im Kleinbetrieb! 245
Technologische Ansatzpunkte zur Energieeinsparung 251
Materialeffizienz in metallbearbeitenden Branchen 292
Beispiele 294
Umwelt- und Stoffstrommanagement schont Ressourcen und mindert Kosten296
Umwelt- und Stoffstrommanagement schont Ressourcen und mindert Kosten298
Galvanotechnik in metall- und kunststoffverarbeitenden Branchen 300
Umweltgerechte Produktionsverfahren in der Galvanotechnik 301
Einsatzstoffe 330
Abwässer aus galvanotechnischen Anlagen 344

Metallbearbeitung

Dieser Bereich des Internet-Portals richtet sich an Umweltverantwortliche von Unternehmen, in denen Metalle be- und -verarbeitet werden. Es zeigt nicht nur wie umweltbewusst produziert werden kann und welche Vorschriften zum Umwelt- und Arbeitsschutz zu beachten sind, sondern auch, welche umweltschonenden Verfahren und Techniken zur Verfügung stehen und wo sie mit finanziellen Vorteilen eingesetzt werden können.

Darüber hinaus erhalten Sie Hinweise und Anregungen zur Selbsthilfe. Teilweise sind diese Anregungen Hilfen zur Umsetzung gesetzlicher Vorschriften, teilweise auch Denkanstöße um eine umweltgerechte Produktionsweise mit Kosteneinsparungen zu verbinden.

Da sich die Ansatzpunkte für einen umweltgerechten Betrieb bei Kleinbetrieben und im Handwerk doch häufig vom industriell geprägten Produktionsbetrieb unterscheiden, wurde für das Metallhandwerk ein zusätzlicher Bereich eingerichtet.

Zu den typischen Umweltthemen im betrieblichen Alltag gehören beispielsweise:

- Auswahl von Produktionsverfahren und Einsatzstoffen (Betriebs- und Hilfsstoffe) unter Berücksichtigung von Umweltaspekten, Material- und Energieeffizienz sowie Arbeitsschutz
- Lagerung und Umgang mit wassergefährdenden Stoffen bzw. Gefahrstoffen
- Vorbeugen vor produktionsbedingten Luftverschmutzungen, Wasser- und Bodenverunreinigungen
- Abfallvermeidung, Verwertung und Beseitigung
- Schutz der Mitarbeiter und Nachbarn vor Lärm

Die rechtlichen Anforderungen, die Betriebe im Umweltschutz erfüllen müssen, sind in den letzten Jahren zunehmend komplex geworden. Die Erfahrungen zeigen allerdings auch, dass durch die richtige Wahl der Umweltschutzmaßnahmen nicht nur rechtliche Anforderungen erfüllt, sondern auch Kosten eingespart werden können.

Wer umweltbewusst handeln will, muss umweltverträgliche Produktionsverfahren und Einsatzstoffe verwenden, sich und seine Mitarbeiter informieren um möglichst schon im Vorfeld Luft, Boden und Gewässer sowie die uns zur Verfügung stehenden Rohstoffressourcen zu schonen und somit hohen Ressourcenverbrauch und unnötige Abfallmengen zu vermeiden. Dem **produktionsintegrierten Umweltschutz** sollte dabei Vorrang vor **additivem Umweltschutz** (nachgeschalteten Maßnahmen) gegeben werden.

Hinweise für das Metallhandwerk allgemein

Die meisten Anforderungen an den betrieblichen Umweltschutz betreffen größere Unternehmen und Handwerksbetriebe in gleicher Weise. Der Schutz unserer Umwelt vor schädlichen Einflüssen sollte neben einer effizienten Betriebsführung fest im Betrieb und bei den Mitarbeitern verankert sein. Hier neben dem Tagesgeschäft jeweils auf dem aktuellen Stand zu bleiben, ist gerade für kleinere Betriebe eine zusätzliche Belastung.

Mit schwerpunktmäßiger Ausrichtung auf das Metallhandwerk sollen Ihnen die nachfolgenden Seiten Hinweise und Tipps zu wichtigen Maßnahmen geben, sowie Informationen wie und wo Sie Unterstützung und weiterführende Informationen bekommen können.

Auch für das Handwerk gilt: Umweltschutz muss nicht nur mehr Aufwand bedeuten, vielmehr kann sich Umweltschutz durchaus lohnen, insbesondere im Hinblick auf den ressourcenschonenden Einsatz von Materialien und Energie.

Im Metallhandwerk werden häufig Prozesshilfsstoffe eingesetzt, von denen Umweltrisiken ausgehen können, z. B. Öle, Kühlschmierstoffe (KSS), Reinigungsmittel usw.. Mit entsprechenden Vorkehrungen zum richtigen Umgang und der Nutzung umweltgerechter Entsorgungswege für die entstehenden Abfälle können

- Risiken minimiert,
- die Arbeitsplatzqualität verbessert und auch
- die Kosten reduziert werden.

Die Struktur der folgenden Seiten orientiert sich an der Untergliederung des Metallhandwerks. In vielen Fachrichtungen werden die gleichen oder ähnliche Fertigungsprozesse eingesetzt. Um Dopplungen zu vermeiden, zeigt Ihnen die Tabelle, wo auf die jeweiligen Prozessschwerpunkte und Umweltthemen eingegangen wird.

Fachrichtung	Relevante Prozesse und Werkstoffe	Schwerpunkt Abfälle
Leichtmetallbau	Blechbearbeitung, Bohren, Fräsen, Beschichten Al-Legierungen	NE-Metallabfälle KSS-Emulsionen
Stahlbau und Schlossereien	Umformende Metallbearbeitung, Sägen, Schweißen, Schmieden Eisen und Stähle	Fe-Metallabfälle KSS-Emulsionen
Maschinenbau	Spanende Metallbearbeitung, Lackieren Fe + NE-Metallwerkstoffe	Fe- und NE-Metallabfälle Lackschlämme KSS-Emulsionen
Werkzeugbau	Einzelfertigung, spanende Metallbearbeitung, Schleifen, Erodieren, Härten Al-Legierungen	Späne, Schleif- und Erodierschlämme KSS-Lösungen und KSS-Öle
Feinmechanik	Serienfertigung, spanende und umformende Metallbearbeitung, Oberflächentechnik	NE- und Fe-Späne KSS-Öle Reinigungsmittel

Aktuelle Umweltthemen, die für alle Betriebe des Metallhandwerks von Bedeutung sind

Abfallentsorgung, insbesondere gefährlicher Abfälle

In vielen Handwerksbetrieben fallen keine größeren Mengen an **gefährlichen Abfällen** an. Insbesondere, wenn in Ihrem Betrieb insgesamt weniger als 2.000 kg/Jahr an gefährlichen Abfällen anfallen, dann können Sie vereinfachte Entsorgungsmöglichkeiten nutzen:

- Bei einem Gesamtanfall < 2.000 kg/a benötigen Sie keine **Entsorgungsnachweise**. Übernahmescheine sind jedoch aufzubewahren.

- Sie können kleine Mengen unter Einhaltung der Sicherheitsvorschriften (z. B. gesicherte und geschlossene Behälter) meist selber zu einer geeigneten Entsorgungsanlage transportieren.
- In vielen Regionen Baden-Württembergs gibt es Angebote zur Entsorgung von Kleinmengen gefährlicher Abfälle. Eine Übersicht der Angebote und Ansprechpartner haben wir auf der Seite Kleinmengenentsorgung für Sie zusammengestellt.

Mit den o.g. Möglichkeiten können Sie Ihre gefährlichen, und natürlich auch die nicht gefährlichen, Abfälle mit geringem Aufwand, kostengünstig und umweltgerecht entsorgen. Fallen bei Ihnen größere Mengen an? Dann finden Sie ausführliche Informationen in Rechtsgrundlagen der Abfallwirtschaft. Auch in der Broschüre Abfallentsorgung im Handwerk (siehe Literatur) ist die richtige Vorgehensweise für verschiedene Abfallarten und -mengen ausführlich beschrieben.

Energie- und Materialeffizienz

Energie- und Materialkosten haben bei Betrieben des Metallhandwerks an Bedeutung zugenommen. Bei produzierenden Betrieben liegen die Materialkosten in der Regel deutlich vor den Personalkosten (Quelle: Statistisches Bundesamt), die Energiekosten dagegen erst an dritter Stelle. Die jeweiligen Ansatzpunkte sind prozess- und betriebsspezifisch. Vorgehensweise und Ansatzpunkte

- zur Steigerung der Materialeffizienz finden Sie auf den Seiten Materialeffizienz und
- zum Thema Energie im Bereich Energie unter "Wichtig für alle Branchen".

Für beide Bereiche gibt es gerade für **KMU** interessante Fördermöglichkeiten. Den Weg zu einem geeigneten Förderprogramm finden Sie auf den Seiten Fördermöglichkeiten.

REACH betrifft auch Handwerksbetriebe

Mit der Einführung eines neuen Chemikalienrechts will die Europäische Union im gesamten Wirtschaftsraum ein einheitliches und vereinfachtes Regelwerk einführen. REACH steht für Registrierung, Evaluierung (Bewertung) und Autorisierung (Zulassung) von Chemikalien. Bis zum 01. Dezember 2008 mussten demnach alle in der EU hergestellten und importierten Stoffe zumindest erst einmal vorregistriert werden.

Betriebe des Metallhandwerks werden als Anwender von Chemikalien überwiegend so genannte „nachgeschaltete Anwender“ sein. Damit müssen Sie in der Regel keine Stoffe selber anmelden, aber Sie sollten sicherstellen, dass die Informationspflichten erfüllt sind und dass Ihnen mit der Einführung von REACH keine Nachteile entstehen. Für Metallhandwerksbetriebe sind insbesondere folgende Aspekte von Bedeutung:

- Stellen Sie bei Ihren Lieferanten sicher, dass die wichtigen Chemikalien, die Sie in Ihrer Produktion einsetzen von Ihrem Lieferanten registriert werden und somit auch nach der Einführung von REACH für Sie noch verfügbar sind.
- Beantworten Sie Anfragen Ihrer Kunden.
- Prüfen Sie, ob Sie nicht doch Hersteller oder Importeur von Stoffen sind (z.B. ein spezielles Reinigungsmittel oder Öl).

Weitere Informationen zu REACH erhalten Sie auf den REACH-Seiten, über das Netzwerk an dem auch der Baden-Württembergische Handwerkstag (BWHT) beteiligt ist sowie über helpdesk, der offiziellen Informationsseite der Bundesbehörden.

Hier erhalten Sie fachkundige Beratung und Unterstützung zu Umweltfragen

Die für Sie zuständigen Umweltberatungsstellen:

- die Adressen und Ansprechpartnern der **Handwerkskammern**
- Verfügbare Informations- und Beratungsangebote im Bereich Technologie und Umwelt über den **BWHT**. Erste Ansprechpartnerin ist Frau Kathleen Spilok. Hier finden Sie auch Hinweise und Informationen zu aktuellen Förderprogrammen im Umweltbereich.
- Infos und Broschüren (meist kostenlos) der Umwelt-Beratung für Handwerksbetriebe auf der Internet-Seite der **Handwerkskammer Karlsruhe**
- Kontaktadressen zu regionalen Beratungseinrichtungen in Baden-Württemberg zur Abfallentsorgung und anderen Umweltthemen finden Sie hier als pdf-Dokument (124 kB).

Leichtmetallbau

In den unter die Sparte Leichtmetallbau fallenden Handwerksbetrieben werden überwiegend Bleche, Profile und sonstige Halbzeuge primär aus Aluminiumwerkstoffen verarbeitet. Als Bearbeitungsverfahren kommt dabei ein breites Spektrum an spanenden und umformenden Fertigungsverfahren zum Einsatz. Im Leichtmetallbau resultieren Umwelteinflüsse überwiegend aus den verwendeten Prozess- und Hilfsstoffen, z. B. Kühlschmierstoffe, Hydraulik- und Maschinenöle, Reinigungsmittel usw.

Ansatzpunkte zur Verbesserung der betrieblichen Umweltsituation

Mit teilweise einfachen Mitteln und Maßnahmen lassen sich Einsatzstoffe sparen, Abfallmengen vermindern, Umweltrisiken vermeiden, die Arbeitsplatzqualität steigern und nicht zuletzt Kosten reduzieren.

Bild: Ständerbohrmaschine mit MMS-Einrichtung

Foto: Fa. Microjet GmbH, Karlsruhe

Eine Alternative zum Kühlschmierstoff (KSS)-Einsatz ist z. B. die Minimalmengen-Schmierung (MMS). Aluminiumbearbeitung (Fräsen, Bohren) mit Minimalmengen-Schmierung

Folgende auf den handwerklichen Leichtmetallbau ausgerichtete Fragen könnten für Sie Optimierungsansätze bedeuten:

- Sind Ihre Bauteile nach der Bearbeitung mit Kühlschmierstoffen behaftet?
- Brauchen Sie öfter Ölbindemittel für Boden und die Maschinenumgebung?
- Bestehen bei Ihren Mitarbeitern manchmal Hautprobleme an den Händen?
- Fallen bei Ihnen mehr als 1.000 kg/Jahr an gefährlichen Abfällen zur Entsorgung an?

Eine Frage mit ja beantwortet? Dann könnten Maßnahmen zur Optimierung des Kühlschmierstoff-Einsatzes weiterhelfen. Diese finden Sie auf den Seiten KSS-Versorgung. Auch sollten Sie prüfen, ob die Minimalmengen-Schmierung bei Ihren Prozessen eingesetzt werden kann. Gerade bei der Aluminiumbearbeitung sind mit MMS bereits große Erfolge erzielt worden. Informationen zu Einsatzmöglichkeiten und Vorteilen der MMS finden Sie auf den MMS-Seiten.

Alle Fragen mit nein beantwortet? Dann finden Sie bei den nachfolgenden Abschnitten vielleicht doch den einen oder anderen Ansatzpunkt mit dem Sie Verbesserungen erreichen können.

Beratungsangebote zu generellen Umweltfragen für das Metallhandwerk und kleinere Betriebe haben wir im Bereich auf der Startseite Metallhandwerk für Sie zusammengestellt.

Spanende Metallbearbeitung

Beim Sägen, Bohren, Fräsen von Al-Werkstoffen sowie in CNC-Bearbeitungsmaschinen werden heute überwiegend noch Kühlschmierstoffe (KSS) eingesetzt. Ein wesentlicher Anteil der Umweltbelastungen in Betrieben des Leichtmetallbaus resultiert aus dem KSS-Einsatz. Nicht nur verbrauchte Kühlschmierstoffe, sondern insbesondere die Verschleppung über Bauteile und Späne, bedingen viel Aufwand und Kosten.

Bild: Mit einem einfachen MMS-System (Microjet) nachgerüstete Ständerbohrmaschine

Foto: ABAG-itm GmbH, Pforzheim

Insbesondere bei der Profilbearbeitung werden erhebliche Mengen an KSS allein dadurch ausgetragen, dass sie an und in den Profilen ablaufen. Die Folge sind verschmutzte Bereiche rund um die Maschine, KSS-Lachen auf dem Boden, hohe KSS-Verluste und nicht zuletzt verölte Teile, die aufwendig wieder gereinigt werden müssen.

Gerade bei Säge- und Fräsoperationen von Aluminium lassen sich Kühlschmierstoffe gut durch die Minimalmengen-Schmierung substituieren. Auch bestehende Maschinen können nachgerüstet werden. Eine Übersicht über bereits existierende Einsatzerfahrungen finden Sie auf den Seiten Trockenbearbeitung. Auf jeden Fall sollten Sie die Realisierungsmöglichkeiten der MMS bei Neuinvestitionen prüfen.

Falls in Ihrem Betrieb auch noch andere Werkstoffe verarbeitet werden, so halten Sie nach Möglichkeit die anfallenden Späne und sonstigen Metallabfälle getrennt. Die Vergütungen für sortenreine Späne und Metallabfälle sind deutlich höher als für Mischfraktionen.

Umformende Metallbearbeitung

Leichtmetalle neigen bei Umformprozessen leicht zu Kaltverschweißungen am Werkzeug. Bei höheren Umformgraden kann daher oft nicht ganz auf Schmierstoffe verzichtet werden. Bei der Blechbeölung kommt es darauf an einen möglichst dünnen Ölfilm gleichmäßig aufzubringen. Erfahrungsgemäß ist eine Menge von 1 – 2 ml/m² ausreichend. Eine Übersicht über geeignete Schmierstoff-Auftragssysteme für Umformprozesse finden Sie auf der Seite MMS Kaltwalzen.

Die Vorteile sind ein stark reduzierter Schmierstoffverbrauch (bis zu 90%), gleichmäßige Bearbeitungsergebnisse und die meist nicht mehr erforderliche Reinigung der Bauteile.

Beschichten

Häufig werden Leichtmetallbauteile, primär aus optischen Gründen, nachträglich noch beschichtet. Die Beschichtung erfolgt überwiegend extern. Wenn Sie eine eigene Beschichtungsanlage betreiben, so finden Sie auf den Seiten Beschichtungsverfahren Hinweise und Optimierungsmöglichkeiten.

Stahlbau und Schlossereien

Im Stahlbau und in Schlossereien werden überwiegend Stähle aus Halbzeugen (Stangen, Rohre, Profile) sowie Bleche verarbeitet. Bei der Tendenz zur Verwendung höherwertiger Materialien werden auch in Handwerksbetrieben zunehmend Edelstähle sowie im Apparatebau auch hochlegierte Nickelstähle verarbeitet. Als Bearbeitungsverfahren kommen dabei ein breites Spektrum an spanenden und umformenden Fertigungsverfahren sowie verschiedene Schweißverfahren zum Einsatz. Die Umwelteinflüsse aus handwerklichen Stahlbaubetrieben und Schlossereien resultieren vorwiegend aus Schmiede- und Schweißprozessen, aus verwendeten Prozess- und Hilfsstoffen wie Kühlschmierstoffe, Maschinenöle usw. sowie gegebenenfalls aus der eigenen Lackiererei.

Ansatzpunkte zur Verbesserung der betrieblichen Umweltsituation

Mit teilweise einfachen Mitteln und Maßnahmen lassen sich Einsatzstoffe sparen, Abfallmengen vermindern, Umweltrisiken vermeiden, die Arbeitsplatzqualität steigern und nicht zuletzt Kosten reduzieren.

Falls in Ihrem Betrieb neben Baustählen auch hochlegierte Stähle (VA-Qualitäten, Nickellegierungen) verarbeitet werden, so erfassen Sie nach Möglichkeit die anfallenden Späne und sonstigen Metallabfälle getrennt. Die Vergütungen für sortenreine Späne und Metallabfälle sind deutlich höher als für Mischfraktionen. Bei kleinen Mengen eignen sich dazu z. B. ausgemusterte 200 l-Fässer.

Bild: Nach Werkstoffen getrennte Sammlung von Spänen und Metallabfällen

Quelle: ABAG-itm GmbH, Pforzheim

Noch ein paar Hinweise zum Thema Energie

- Druckluft ist zwar bequem aber bezüglich der Betriebskosten die teuerste Energieform. Hinweise zum effizienten Drucklufteinsatz finden Sie auf der Seite Einsparmöglichkeiten-Druckluft.
- Heizung: In den im Stahlbau üblichen Fertigungshallen machen konventionelle Heizkörper und Warmluftheizungen wenig Sinn. Bei genügender Raumhöhe haben sich Strahlungsheizungen bewährt.
- Absauganlagen, z. B. an Schweißarbeitsplätzen werden oft stiefmütterlich behandelt und verbrauchen viel Strom. Sie sollten strömungsgünstig ausgelegt und nach Bedarf ansteuerbar sein. Bei langen Laufzeiten lohnen sich Lüftermotoren mit der **Effizienzklasse 1**.

Weitere Ansatzpunkte zum Thema Energie finden Sie auf den Energieseiten.

Beratungsangebote zu generellen Umweltfragen für das Metallhandwerk und kleinere Betriebe haben wir auf der Startseite Metallhandwerk für Sie zusammengestellt.

Umweltrelevante Fertigungsverfahren

Spanende Metallbearbeitung

Im Stahlbau werden oft Stangenmaterial und Profile zugeschnitten und durch Bohren und Fräsen weiterverarbeitet. Insbesondere bei großen und langen Werkstücken haben Kühlschmierstoffe den Nachteil, dass sie am Werkstück entlanglaufen und Bodenverunreinigungen um den Maschinenbereich kaum zu vermeiden sind. Stähle lassen sich auch gut trocken bzw. mit Minimalmengen-Schmierung bearbeiten. Kleinste Mengen Kühlschmierstoff werden dabei genau an die Stelle gebracht, wo sie benötigt werden. Die wesentlichen Vorteile dabei:

- Viel geringerer Schmierstoffverbrauch
- Keine Verunreinigung im Umgebungsbereich der Maschine, auch die Maschinen bleiben sauberer
- Die Werkstücke bleiben sauber (ölfrei)
- Die Werkstückreinigung vor einer nachfolgenden Lackierung wird einfacher, kann teilweise sogar entfallen.

An anderer Stelle in diesem Portal finden Sie eine übersichtliche Darstellung der Technologie und der Einsatzbereiche der Trockenbearbeitung bzw. Minimalmengen-Schmierung.

Umformende Metallbearbeitung/Schmieden

An Umformprozessen werden im Stahlbau primär Biegeverfahren, sowie zur Warmumformung das Schmieden eingesetzt. Das Biegen von Stahlprofilen kann in der Regel ohne Schmierstoffe als Hilfsmittel erfolgen.

Bei Schmiedeprozessen ist, je nach Ofentyp, eine Absaugung erforderlich. Angesichts der stark gestiegenen Energiepreise sollte auch geprüft werden, ob sich eine Wärmerückgewinnung aus der Abluft im Schmiedebereich lohnt.

Schweißen

Schweißarbeitsplätze müssen aus Arbeitsschutzgründen über eine Absaugung zur Ableitung der Schweißrauche verfügen.

Foto: Handschweißarbeitsplatz mit Absaugung

Quelle: VMBG, Berufsgenossenschaftliche Information BGI 593

Die konkreten Vorgaben zur Gestaltung von Schweißarbeitsplätzen finden Sie auf der Seite Schweißen und Schneiden. Mit der richtigen Auslegung (strömungsgünstig, effiziente Lüfter) der Absauganlage lassen sich Kosten sparen. Hinweise dazu finden Sie auf der Seite Lüftung und Klimatisierung.

Entsorgungshinweis: Schweißrückstände (Zunder, Schlacke, Elektrodenreste usw.) müssen als gefährlicher Abfall (früher **Sonderabfall**) entsorgt werden.

Lackieren

Zur Lackierung der hergestellten Produkte sind in Handwerksbetrieben meist Handlackierplätze mit Sprühpistolen eingerichtet. Zur Absaugung des Oversprays und der Lösemitteldämpfe ist eine Absauganlage erforderlich, die mit einem Filter zur Trockenabscheidung des Oversprays ausgestattet sein sollte. Vertiefende Informationen zu Umweltschutzmaßnahmen bei Lackieranlagen erhalten Sie auf der Seite Lackiertechnik.

Tipp: Das Lackieren mit der Sprühpistole ist zwar bequemer, aber der Lackauftrag per Pinsel ist insbesondere bei offenen Strukturen (z. B. Tragwerk, Gitter) letztendlich effektiver und vor allem umweltschonender. Es entsteht kein Overspray und es ist keine Absaugung, sondern nur eine ausreichende Lüftung erforderlich.

Entsorgungshinweis: Falls ausgehärtet, sind die Abfälle (Filtermatten) aus der Absauganlage sowie Lack- und Farbreste als nicht gefährlich eingestuft und können mit dem Gewerbeabfall entsorgt werden. Nicht ausgehärtete Lack- und Farbreste sind dagegen gefährlicher Abfall.

Maschinenbau

Der handwerkliche Maschinenbau ist geprägt von der kundenorientierten Herstellung von Maschinen und Anlagen als Einzelanfertigung oder in kleinen Serien. In der Fertigung wird daher ein breites Spektrum an Metallbearbeitungsverfahren eingesetzt. In der Regel werden die hergestellten Anlagen im eigenen Betrieb vollständig montiert und mit der zugehörigen Steuerung versehen. Im handwerklichen Maschinenbau resultieren Umwelteinflüsse daher überwiegend aus den verwendeten Hilfsstoffen, d. h. insbesondere Kühlschmierstoffen und Reinigungsmedien.

Ansatzpunkte zur Verbesserung der betrieblichen Umweltsituation

In den meisten Maschinenbau-Betrieben erfolgt die Bearbeitung in den Werkzeugmaschinen unter Verwendung von Kühlschmierstoff (KSS), meistens Emulsionen. Das Augenmerk sollte daher auf der Minimierung der Umwelteinflüsse aus dem KSS-Einsatz liegen. Die folgenden Fragen bieten Ihnen Anhaltspunkte für mögliche Optimierungsansätze:

- Wie viele KSS-Sorten setzen Sie ein, mehr als zwei?
- Benötigen Sie öfter Ölbindemittel für Boden und die Maschinenumgebung?
- Müssen Sie im Sommer öfter den KSS wechseln?
- Bestehen bei Ihnen oder Ihren Mitarbeitern Hautprobleme an den Händen?

Trifft der eine oder andere Punkt bei Ihnen zu? Dann sollten Sie sich die Ansatzpunkte zur Optimierung des Kühlschmierstoff-Einsatzes genauer ansehen. Auch bei kleinen Anlagen sind damit oft erhebliche Kosteneinsparungen verbunden.

Foto: Einfache Reinigungsstation einer KSS-Versorgung

Quelle: ABAG-itm GmbH, Pforzheim

Beratungsangebote zu generellen Umweltfragen für das Metallhandwerk und kleinere Betriebe haben wir auf der Startseite Metallhandwerk für Sie zusammengestellt.

Umweltrelevante Fertigungsverfahren

Spanende Metallbearbeitung

Beim Sägen, Bohren, Fräsen sowie in CNC-Bearbeitungsmaschinen im handwerklichen Maschinenbau werden überwiegend Kühlschmierstoff-Emulsionen eingesetzt. In handwerklichen Betrieben sind einzelversorgte Maschinen die Regel, die teilweise auch nur sporadisch genutzt werden.

Durch regelmäßiges Umwälzen oder Belüften sowie durch Entfernung von Fremdölen und anderen Verunreinigungen lassen sich die Standzeiten von KSS-Emulsionen auch bei einzelversorgten Maschinen auf 3 bis 6 Monate erhöhen. Zudem wird die Arbeitshygiene deutlich verbessert.

Wassergemischte Kühlschmierstoffe (Emulsionen, Lösungen) werden fast ausschließlich durch eingetragene Verunreinigungen unbrauchbar. Vorrangig sollte daher der Eintrag von Verschmutzungen (Fremdöle, Fremdstoffe) durch die Maschine, die zu bearbeitenden Werkstücke und die Mitarbeiter vermieden werden. Mit einfachen Messungen (pH-Wert mit pH-Papier, Konzentration mit Hand-Refraktometer, Leitwert, Geruch und optischer Beurteilung) erhalten Sie schnell Hinweise, ob der Kühlschmierstoff sich verändert und können noch gegensteuern. Hinweise zur Wartung und Pflege von KSS-Emulsionen finden Sie auf der Seite KSS-Abfallvermeidung.

In Einzelfällen kann auch eine Umstellung auf Trockenbearbeitung bzw. Minimalmengen-Schmierung vorteilhaft sein. Informationen zu Einsatzmöglichkeiten und Vorteilen der Trockenbearbeitung/MMS finden Sie auf der Seite Trockenbearbeitung. Der Einsatz dieser umweltfreundlichen Techniken sollte bei Neuinvestitionen auf jeden Fall in Betracht gezogen werden.

Entsorgungshinweis: Verbrauchte KSS-Emulsionen und Öle sollten nicht miteinander vermischt werden, da nicht gemischte Altöle ohne Vorbehandlung verwertbar sind.

Reinigung

Vor der Weiterverarbeitung, der Montage oder einer abschließenden Beschichtung müssen die Bauteile oft gereinigt bzw. entfettet werden. Die Auswahl eines Reinigungssystems richtet sich nach der überwiegenden Reinigungsaufgabe (Öle, Emulsionen, Verschmutzungen) und dem zu behandelnden Bauteilespektrum (Größe, Struktur, Werkstoffe). Informationen zur Auswahl eines geeigneten Reinigungssystems unter Berücksichtigung der Umweltaspekte finden Sie auf den Seiten Reinigen und Entfetten.

Im handwerklichen Maschinenbau sollten Reinigungssysteme auf wässriger Basis bevorzugt werden. Neben der besseren Umweltverträglichkeit sind kompakte, flexible Systeme am Markt verfügbar. Moderne Reiniger können auch mit Temperaturen unter 50 °C betrieben werden. Hinweise zum Umgang mit wässrigen Reinigungssystemen finden Sie auf der Seite wässrig Reinigen.

Entsorgungshinweis: Verbrauchte KSS-Emulsionen und Reinigungsemulsionen können gemeinsam entsorgt werden (AS 12 01 09*).

Lackieren/Beschichten

Falls die hergestellten Anlagen nicht extern lackiert oder beschichtet werden, sind in Handwerksbetrieben meist Handlackierplätze mit Sprühpistolen eingerichtet. Zur Absaugung des Oversprays und der Lösemitteldämpfe ist eine Absauganlage erforderlich, die mit einem Filter zur Trockenabscheidung des Oversprays ausgestattet sein sollte. Vertiefende Informationen zu Umweltschutzmaßnahmen bei Lackieranlagen erhalten Sie auf den Seiten Lackiertechnik.

Entsorgungshinweis: Falls ausgehärtet, sind die Abfälle (Filtermatten) aus der Absauganlage sowie Farb- und Lackreste als nicht gefährlich eingestuft und können mit dem Gewerbeabfall entsorgt werden. Nicht ausgehärtete Lack- und Farbreste sind dagegen gefährlicher Abfall.

Werkzeugbau

Im handwerklichen Werkzeugbau werden Werkzeuge für die verschiedensten Anwendungsbereiche (z. B. Stanzwerkzeuge, spanende Bearbeitung von Metall, Holz und Kunststoffen, Spritzgusswerkzeuge) nach Kundenvorgaben und meist als Einzelanfertigung hergestellt. In der Fertigung wird daher ein großes Spektrum an Verfahren zur Metallbearbeitung und Oberflächenbehandlung eingesetzt. Im Werkzeugbau resultieren Umwelteinflüsse überwiegend aus den verwendeten Hilfsstoffen, d. h. insbesondere Kühlschmierstoffen, Erodierdielektrika und gegebenenfalls Härtemedien.

Ansatzpunkte zur Verbesserung der betrieblichen Umweltsituation

Da im Werkzeugbau meist viele verschiedene Bearbeitungsverfahren im Einsatz sind, lässt sich auch ein breites Spektrum an Prozess- und Hilfsstoffen kaum vermeiden. Bei der Lagerung/Bereitstellung muss einerseits der Boden- und Gewässerschutz berücksichtigt und andererseits das Verwechselungsrisiko minimiert werden.

Folgende Hinweise soll Ihnen helfen, Umweltrisiken und hilfsstoffbedingte Abfälle zu reduzieren:

- Vorratsgebinde für Öle, Kühlschmierstoffe usw. sollten immer über Auffangwannen gelagert werden, auch um Tropfverluste zuverlässig aufzufangen.
- Jedes Gebinde ist eindeutig zu kennzeichnen.
- Die Anzahl der eingesetzten Produkte sollte so gering wie möglich gehalten werden.
- Die Austragsverluste über Späne, Schleif- und Erodierschlämme und nicht zuletzt über die Werkstücke sollten möglichst gering gehalten werden.

Foto: Öl- und Schmierstoffbereitstellung mit Auffangwanne

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Falls in Ihrem Betrieb auch Werkstoffe wie Hartmetalle und HSS verarbeitet werden, so halten Sie nach Möglichkeit die anfallenden Späne und sonstigen Metallabfälle getrennt. Die Vergütungen für sortenreine Späne und Metallabfälle sind deutlich höher als für Mischfraktionen.

Beratungsangebote zu generellen Umweltfragen für das Metallhandwerk und kleinere Betriebe haben wir auf der Startseite Metallhandwerk für Sie zusammengestellt.

Umweltrelevante Fertigungsverfahren

Spanende Metallbearbeitung

Im handwerklichen Werkzeugbau werden überwiegend KSS-Emulsionen, zum Schleifen auch KSS-Lösungen oder Schleiföle, in der Regel in einzelversorgten Maschinen eingesetzt.

Tipp: Durch regelmäßiges Umwälzen oder Belüften sowie durch Entfernung von Fremdölen und anderen Verunreinigungen lassen sich die Standzeiten von KSS-Emulsionen auch bei einzelversorgten Maschinen auf 3 bis 6 Monate erhöhen. Zudem wird die Arbeitshygiene deutlich verbessert.

Wassergemischte Kühlschmierstoffe (Emulsionen, Lösungen) werden fast ausschließlich durch eingetragene Verunreinigungen unbrauchbar. Vorrangig sollte daher der Eintrag von Verschmutzungen (Fremdöle, Fremdstoffe) durch die Maschine, die zu bearbeitenden Werkstücke und die Mitarbeiter vermieden werden. Mit einfachen Messungen (pH-Wert mit pH-Papier, Konzentration mit Hand-Refraktometer, Leitwert, Geruch und optischer Beurteilung) erhalten Sie frühzeitig Hinweise, ob der Kühlschmierstoff sich verändert und können noch gegensteuern. Hinweise zur Wartung und Pflege von KSS-Emulsionen finden Sie auf den KSS-Seiten.

Gerade, wenn manche Werkzeugmaschinen nur sporadisch benutzt werden, ist die Bearbeitung mit Minimalmengen-Schmierung sehr vorteilhaft, da insbesondere Kühlschmierstoff-Emulsionen in Stillstandszeiten schnell verkeimen. Dauernd wechselnde Bearbeitungsprozesse erfordern dafür jedoch Erfahrung und Engagement. Informationen zu Einsatzmöglichkeiten und Vorteilen der Trockenbearbeitung/MMS finden Sie auf den Trockenbearbeitungsseiten.

Entsorgungshinweise: Verbrauchte KSS-Emulsionen (AS 12 01 09*) und Öle (AS 12 01 07*) sollten nicht miteinander vermischt werden, da nicht gemischte Altöle ohne Vorbehandlung verwertbar sind. Chlorhaltige KSS sollten generell nicht eingesetzt werden.

KSS-Emulsionen (AS 12 01 09*) und KSS-Lösungen (AS 12 01 10*) sollten ebenfalls getrennt entsorgt werden. In den gängigen Emulsionsspaltanlagen (Ausnahme Verdampfer) können die KSS-Lösungen nicht aus der Wasserphase abgetrennt werden, was zu einem erheblichen Mehraufwand führt.

Erodieren

Draht- und Senkerodierverfahren werden im Werkzeugbau sehr häufig eingesetzt. Umweltrelevant sind dabei insbesondere die Erodierelektrika (entionisiertes Wasser beim Drahterodieren und synthetische Kohlenwasserstoffe beim Senkerodieren) mit den zur Entfernung der abgetragenen Metallpartikel erforderlichen Reinigungsverfahren. Beim Senkerodieren haben sich rückspülbare Filtersysteme bewährt, wodurch die Entsorgungsmengen und -kosten deutlich reduziert werden. Für die beim Drahterodieren zur Wasserpflege erforderlichen Ionentauscher können regenerierbare Ionentauscherharze eingesetzt und somit die Entsorgungsmengen reduziert werden. Weitere Informationen zu Umweltaspekten beim Erodieren erhalten Sie auf den Seiten Erodieren.

Entsorgungshinweise: Erodierschlämme können gemeinsam mit den Schleifschlämmen (AS 12 01 09*) entsorgt werden.

Erodierelektrika aus Senkerodieranlagen bestehen aus synthetischen Kohlenwasserstoffen und können daher zusammen mit KSS-Lösungen unter AS 12 01 10* entsorgt werden.

Oberflächentechnik/Schleifen

Je nach Anforderungen werden bei Schleifmaschinen im Werkzeugbau KSS-Emulsionen, -Lösungen oder auch dünnflüssige Öle eingesetzt. Versuchen Sie Spritz- und Austragsverluste gering zu halten. Durch die hohen Drehzahlen entstehende feine Nebel sollten, unabhängig vom KSS-Typ aus Arbeitsschutzgründen abgesaugt werden. Idealerweise sollten Schleifmaschinen gekapselt sein. Zur Reduzierung der Austragsverluste über die Schleifschlämme bieten sich hilfsmittelfreie Filterverfahren wie Magnetwalzen oder Umlaufbandfilter an. Eine Übersicht über verfügbare Filtrationsverfahren finden Sie auf den Seiten Abfallvermeidung im Bereich KSS.

Entsorgungshinweise: Ölhaltige Schleifschlämme dürfen nicht den Spänen zugefügt, sondern müssen separat als gefährlicher Abfall (AS 12 01 18*) entsorgt werden. Für ölhaltige Schleifschlämme bestehen verschiedene Verwertungsmöglichkeiten, die für Handwerksbetriebe wegen der meist kleinen Mengen allerdings nur beschränkt zugänglich sind. Weitere Informationen über Abfallvermeidungsmöglichkeiten und Verwertungswege finden Sie auf den Seiten Abfallvermeidung im Bereich Schleifen. Hartmetallschlämme sollten separat erfasst werden, da sie gut verwertbar sind und auch in kleinen Mengen hoch vergütet werden.

Wärmebehandlung/Härten

Neben der Energieintensität enthalten die bei den Härteprozessen zum Abschrecken verwendeten Medien eine teilweise erhebliche Umweltrelevanz. Zum Abschrecken verwendet werden Emulsionen, Öle und auch Salze. Im handwerklichen Werkzeugbau erfolgt das Härten häufig extern in spezialisierten Härtereien. Wenn Sie selber härten, dann finden Sie weitere Informationen auf den Seiten Härten und Wärmebehandeln.

Feinmechanik

In Betrieben der Feinmechanik werden, wie der Name schon sagt, häufig kleine Produkte hergestellt, so dass auch in handwerklichen Betrieben neben spezifischen Einzelanfertigungen oft Serien mit großen Stückzahlen produziert werden. In erster Linie werden spanende Bearbeitungsverfahren, teilweise mit nachfolgender Oberflächenbehandlung eingesetzt. Umwelteinflüsse resultieren überwiegend aus den dabei verwendeten Hilfsstoffen, d. h. insbesondere Kühlschmierstoffen und Reinigungsmedien.

Ansatzpunkte zur Verbesserung der betrieblichen Umweltsituation

In der Feinmechanik sind die meisten Maschinen noch so ausgelegt, dass Kühlschmierstoffe (KSS) verwendet werden müssen. Je nach Maschine und Werkstoff werden dabei Emulsionen und/oder Öle eingesetzt. Das Augenmerk sollte daher darauf gerichtet sein, Umwelteinflüsse durch KSS zu minimieren. Die folgenden Fragen bieten Ihnen Hinweise auf mögliche Optimierungsansätze:

- Wie viele KSS-Sorten setzen Sie ein, mehr als zwei?
- Benötigen Sie öfter Ölbindemittel für Boden und die Maschinenumgebung?
- Müssen Sie im Sommer öfter den KSS wechseln?
- Bestehen bei Ihnen oder Ihren Mitarbeitern Hautprobleme an den Händen?
- Müssen Sie oft Kühlschmierstoff nachfüllen?

Trifft der eine oder andere Punkt bei Ihnen zu? Dann sollten Sie sich den Bereich **Kühlschmierstoffe für die Metallbearbeitung** genauer ansehen. Auch bei kleinen Anlagen können mit einfachen Maßnahmen oft erhebliche Kosteneinsparungen z. B. durch Rückführung der über Späne und Teile ausgetragenen Öle realisiert werden.

Bild: Spänekarren mit Ablasshahn für KSS

Foto: ABAG-itm GmbH, Pforzheim

Je nach Austragssystem können z. B. Messingspäne bis zu 30 % und Schleifschlämme bis zu 70 % Kühlschmierstoff enthalten. Spänebehälter sollten daher einen Ablasshahn für ablaufende Kühlschmierstoffe haben. Bei größerem Späneanfall kann eine Zentrifuge rentabel sein.

KSS-Öle können direkt in den Maschinenkreislauf zurückgeführt werden (ggf. über einen Filter), bei Emulsionen sollte vorher geprüft werden, ob die Emulsion noch gebrauchsfähig ist.

Beratungsangebote zu generellen Umweltfragen für das Metallhandwerk und kleinere Betriebe haben wir auf der Startseite Metallhandwerk für Sie zusammengestellt.

Umweltrelevante Fertigungsverfahren

Spanende Metallbearbeitung

Tipp: Falls in Ihrem Betrieb verschiedene Werkstoffe verarbeitet werden, so halten Sie nach Möglichkeit die anfallenden Späne und sonstigen Metallabfälle getrennt. Die Vergütungen für sortenreine Späne und Metallabfälle sind deutlich höher als für Mischfraktionen.

Bedingt durch unterschiedliche Bearbeitungsverfahren und Werkstoffe werden bei Betrieben der Feinmechanik oft mehrere Kühlschmierstoffsorten eingesetzt. Erfahrungen haben gezeigt, dass man in dieser Branche in der Regel mit zwei KSS-Sorten auskommt: Einer Emulsion und einem Öl. Die Vorteile liegen bei der einfacheren Beschaffung und Lagerung, der geringeren Verwechselungsgefahr, der einfacheren Überwachung und Pflege bis zur kostengünstigeren Entsorgung.

Der Fokus zur Abfall- und Kostenreduzierung liegt bei KSS-Emulsionen und KSS-Ölen bei unterschiedlichen Ansatzpunkten:

- KSS-Öle: Reduzierung und Rückführung der Austragsverluste über Späne und Produkte. Maßnahmen zum umweltgerechten Einsatz von KSS-Ölen und zur Abfallreduzierung finden Sie aud der Seite KSS-Öle.
- KSS-Emulsionen: Verlängerung der Badstandzeiten durch verbesserte Randbedingungen, Wartung und Pflege. Detailinformationen zu diesem Bereich erhalten Sie auf den KSS-Seiten.

Der Verzicht auf Kühlschmierstoffe, d. h. die Trockenbearbeitung bzw. Minimalmengen-Schmierung ist im Bereich der Feinmechanik für viele Produktionsprozesse möglich, setzt aber dafür ausgelegte Werkzeugmaschinen voraus. Insbesondere bei Serienprozessen kann durch Trockenbearbeitung/MMS die Bearbeitungseffizienz gesteigert und Vorteile beim Umwelt- und Arbeitsschutz erzielt werden. So kann z. B. häufig der komplette Reinigungsprozess entfallen. Weitere Informationen zu Einsatzmöglichkeiten und Vorteilen der Trockenbearbeitung/MMS finden Sie auf der Seite Trockenbearbeitungsseiten . Bei Neuinvestitionen sollte der Einsatz dieser umweltfreundlichen Technik auf jeden Fall in Betracht gezogen werden.

Entsorgungshinweise: Verbrauchte KSS-Emulsionen (AS 12 01 09*) und Öle (AS 12 01 07*) sollten nicht miteinander vermischt werden, da nicht vermischte Altöle ohne Vorbehandlung verwertbar sind.

Reinigen

Vor einem Prozess zur Oberflächenbehandlung bzw. vor dem Versand müssen die Bauteile in der Regel gereinigt bzw. entfettet werden. Die Auswahl eines Reinigungssystems richtet sich nach der überwiegenden Reinigungsaufgabe (Öle, Emulsionen, Verschmutzungen) und dem zu behandelnden Bauteilespektrum (Größe, Struktur, Werkstoffe). Informationen zur Auswahl eines geeigneten Reinigungssystems unter Berücksichtigung der Umweltaspekte finden Sie im Bereich Reinigen und Entfetten. In Handwerksbetrieben mit Schwerpunkt Feinmechanik sollten Reinigungssysteme auf wässriger Basis bevorzugt werden. Neben der besseren Umweltverträglichkeit sind für diesen Einsatzbereich kompakte, flexible Systeme am Markt verfügbar. Moderne wässrige Reiniger können auch bei Temperaturen unter 50 °C betrieben werden. Hinweise zum Umgang mit wässrigen Reinigungssystemen finden Sie im Bereich Reinigen.

Entsorgungshinweis: Verbrauchte KSS-Emulsionen und Reinigungsemulsionen können gemeinsam entsorgt werden (AS 12 01 09*).

Oberflächenbehandlung

In der Feinmechanik kommt der Oberfläche der Bauteile eine hohe Bedeutung zu. Je nach Produktspektrum werden spezifische Verfahren eingesetzt. Die nachfolgende Zusammenstellung gibt Ihnen Hinweise zum jeweils weiterführenden Kapitel mit Umweltaspekten und vielen Hinweisen zu umweltschonenden Produktionstechniken:

- Schleifen, Honen, Läppen, weitere Hinweise finden Sie auf der Seite Schleifen und Honen.
- Gleitschleifen/Trommeln/Trowalisieren, weitere Hinweise finden Sie auf der Seite Gleitschleifen.
- Phosphatieren, weitere Hinweise finden Sie auf der Seite Phosphatieren.
- Brünieren, weitere Hinweise finden Sie auf der Seite Brünieren.
- Galvanische Prozesse, weitere Hinweise finden Sie auf der Seite Galvanik.

Da die meisten Verfahren zur Oberflächenbehandlung auf wässrigen Systemen basieren entstehen Abwässer, die auf keinen Fall unbehandelt in die öffentliche Kanalisation eingeleitet werden dürfen. Die Abwassermenge ist in erster Linie abhängig von einem effektiven Spülverfahren. Tipps zu wassersparenden Spülverfahren finden Sie auf der Seite Spülverfahren. Ob eine betriebliche Abwasserbehandlung oder eine Entsorgung in eine zentrale Abwasserbehandlungsanlage kostengünstiger ist, hängt von den zu entfernenden Schadstoffen und den betrieblichen Randbedingungen ab. Weitere Informationen finden Sie im Bereich Abwasserbehandlung.

Produktionsverfahren in metallbearbeitenden Branchen

Neben der Bearbeitung mittels Werkzeugmaschinen, die in den meisten metallbearbeitenden Betrieben den größten Fertigungsanteil ausmacht, bilden Verfahren zur Oberflächenbehandlung einen weiteren Schwerpunkt der eingesetzten Produktionsverfahren. Die Palette der Bearbeitungsverfahren ist groß und variantenreich und reicht von A wie Anfasen über H wie Härten bis Z wie Ziehen.

Bei der Auswahl eines Produktionsverfahrens sollten, neben den produktionstechnischen Anforderungen, auch die Aspekte des Umwelt- und des Arbeitsschutzes mit einbezogen werden. Ebenso hat die Auswahl der häufig als **Gefahrstoff** eingestuften Prozess- und Hilfsstoffe ökologische Auswirkungen, die auch von erheblicher Kostenrelevanz sein können. Teilweise entstehen gefährliche Stoffe auch erst im Produktionsprozess, wie z.B. Schweißrauch, Lösemittelemissionen aus der Reinigung oder Lackierung oder **Aerosole** beim Kühlschmierstoffeinsatz.

Von besonderer Umweltrelevanz sind oft Prozessstoffe und die zur Prozessoptimierung eingesetzten Prozesshilfsmittel wie z. B. Schmier- und Kühlschmierstoffe sowie Hydraulik- und Maschinenöle mit daraus resultierenden Emissionen und Abfällen.

Die gesamte Prozesskette betrachten

Nicht nur unter den Aspekten des Arbeits- und Umweltschutzes, sondern insbesondere auch unter ökonomischen Gesichtspunkten ist die Betrachtung der Fertigungskette, in die das jeweilige Bearbeitungsverfahren eingebunden ist, von erheblicher Bedeutung. Einflüsse aus vorgeschalteten Bearbeitungsprozessen sind ebenso zu berücksichtigen wie die Auswirkungen der verwendeten Bearbeitungs- und Hilfsstoffe auf die Folgeprozesse.

Grafik: Vom Halbzeug zum Produkt - Ökoeffizienz, die gesamte Prozesskette entscheidet

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Nachfolgend einige Beispiele:

- Auf Halbzeugen oder Vorprodukten aufgetragene **Korrosionsschutzmittel** können negative Einflüsse auf die Wirkung von Kühlschmierstoffen und damit die Bearbeitungsqualität haben und zu kurzen Badstandzeiten, zusätzlichen Hautbelastungen bei den Mitarbeitern und zu einem erhöhtem Abfallaufkommen führen.
- Die bei der spanenden Bearbeitung eingesetzten Kühlschmierstoffe werden über die Werkstücke aus dem Prozess ausgetragen und haben damit wiederum erhebliche Auswirkungen auf den Folgeprozess, sei es ein Reinigungsprozess oder ein weiterer Prozess zur Oberflächenbehandlung.

Eine ganzheitliche Prozessbetrachtung zeigt Zusammenhänge in der Produktion auf und eröffnet ein großes Potenzial zur Prozessoptimierung, sowohl in ökologischer als auch in ökonomischer Hinsicht.

Spanende Bearbeitungsverfahren

Bei der spanenden Metallbearbeitung werden im Gegensatz zu umformenden Bearbeitungsverfahren durch Werkzeugschneiden Materialschichten (Späne) von der Werkstückoberfläche abgetragen um eine gewünschte Form und/oder Oberflächengüte zu erzielen.

Spanabhebende Bearbeitungsverfahren werden in zwei Kategorien unterteilt

Grafik: Einteilung spanender und umformender Metallbearbeitungsverfahren

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Zur Verbesserung der Prozesseffektivität werden bei spanenden Bearbeitungsprozessen meist **Kühlschmierstoffe (KSS)** eingesetzt. KSS haben drei Hauptaufgabenbereiche: Reduzieren der Reibung, Abführen der Prozesswärme und Wegspülen der anfallenden Späne. Durch die Bearbeitung mit KSS konnten erhebliche Produktivitätssteigerungen erzielt und auch einige Prozesse erst im industriellen Maßstab realisiert werden. Andererseits resultieren für die metallverarbeitenden Betriebe aus der Verwendung von KSS Umweltrisiken und nicht zuletzt auch erhebliche Kosten. Dies betrifft Handwerksbetriebe und Großbetriebe gleichermaßen.

Umweltaspekte bei der spanenden Metallbearbeitung

Insbesondere bedingt durch den Einsatz von Ölen (z. B. Hydraulikölen) und Kühlschmierstoffen spielen bei der spanenden Metallbearbeitung folgende Umweltaspekte eine Rolle:

- Öle und KSS sind häufig **Gefahrstoffe**, z. B. wassergefährdende Stoffe und teilweise brennbare Flüssigkeiten. Bei Lagerung und Umgang müssen daher die geltenden umweltrechtlichen Vorschriften beachtet werden.
- Die aus dem KSS-Einsatz resultierenden Abfälle sind in der Regel **gefährliche Abfälle**.
- Arbeitsschutz: Inhaltsstoffe und Eigenschaften der verwendeten Öle und KSS sowie Emissionen aus dem Bearbeitungsprozess bergen Gefahrenpotenziale für die Mitarbeiter. Hier sind die geltenden Arbeitsschutzvorschriften zu berücksichtigen.

In über 95 % der spanenden Metallbearbeitung werden derzeit noch KSS verwendet (Nassbearbeitung). Bundesweit werden jährlich etwa 80.000 t/a an KSS-Ölen und KSS-Konzentraten verbraucht. Neben dem zu bearbeitenden Werkstoff ist das Bearbeitungsverfahren ausschlaggebend ob und mit welchen Anforderungen KSS eingesetzt werden oder ob inzwischen auch eine trockene Bearbeitung möglich ist. Insbesondere neuere Entwicklungen bei den Werkzeugtechnologien (Beschichtungen, neue Werkstoffe, andere Geometrien) ermöglichen heute teilweise den gänzlichen (**Trockenbearbeitung**) oder zumindest teilweisen Verzicht auf Kühlschmierstoffe (Minimalmengen-Schmierung MMS). Insbesondere bei Neuinvestitionen sollten daher die Einsatzmöglichkeiten der Trockenbearbeitung geprüft werden.

Zu entsorgende KSS sind generell als gefährlicher Abfall (Sonderabfall) eingestuft. Neben unbrauchbar gewordenen KSS resultieren noch weitere, im Wesentlichen KSS-bedingte Abfälle aus der spanenden Metallbearbeitung, z. B.:

- Ölhaltige Schleif, Hon- und Läppschlämme
- KSS-getränkte Filtermittel (Filtervliese, Filterpatronen)
- Ölbindemittel (aufsaugen verspritzter, verschütteter KSS)

- KSS-verunreinigte Putztücher und Arbeitskleidung
- Verölte Späne (insbesondere beim Einsatz von KSS-Ölen)

Nicht zuletzt sind natürlich auch die Werkstücke beim Verlassen der Maschine mit KSS behaftet; dies lässt sich durch Abtropfen oder Schleudern reduzieren. Meistens müssen sie vor dem Weiterverarbeiten gereinigt werden, was wiederum Umweltbelastungen nach sich zieht.

Fräsen und Drehen

Spanende Bearbeitungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide

Fräs- und Drehprozesse sind zwei typische Vertreter von Metallbearbeitungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide. Das Fräsen steht für Bearbeitungsverfahren mit unterbrochenem Schnitt, das Drehen als Beispiel für Bearbeitungsprozesse mit längerem Schneideneingriff. Je nach zu bearbeitendem Werkstoff und der Konzeption der Werkzeugmaschine werden bei den beiden Grundverfahren der Metallbearbeitung in der Regel noch Kühlschmierstoff-Emulsionen (KSS-Emulsionen) oder KSS-Öle eingesetzt.

Bild: Spanende Bearbeitung mit KSS

Quelle: Fuchs Petrolub, Mannheim

In vielen Fällen bestehen jedoch bereits umfangreiche Anwendungserfahrungen mit **Trockenbearbeitung** bzw. Minimalmengen-Schmierung (MMS).

Tabelle: KSS-Verwendung und Erfahrungen mit Trockenbearbeitung/MMS beim Fräsen und Drehen

	Fräsen	Drehen
Bearbeitung von	Bevorzugte KSS	
Guss	Emulsion	Emulsion
Stählen	Emulsion	Emulsion
VA-Stählen	Emulsion/Öl	Emulsion/Öl
NE-Metallen	Emulsion/Öl	Emulsion/Öl
	Erfahrungen mit Trockenbearbeitung	
Guss	sehr gut	sehr gut
Stählen	gut	eingeschränkt
VA-Stählen	kaum möglich	kaum möglich

NE-Metallen	stark eingeschränkt	stark eingeschränkt
	Erfahrungen mit MMS	
Guss	sehr gut aber trocken möglich	sehr gut aber trocken möglich
Stählen	sehr gut	gut
VA-Stählen	schwierig	sehr schwierig
NE-Metallen	gut	gut

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Insbesondere das Fräsen ist grundsätzlich sehr gut für die Trockenbearbeitung/MMS geeignet. Bei der Nassbearbeitung werden die Schneidplatten im unterbrochenen Schnitt durch den Kühlschmierstoff quasi einer Thermoschockbeanspruchung ausgesetzt. Dies ist bei Trockenbearbeitung/MMS nicht der Fall, so dass wesentlich höhere Standzeiten erzielt werden können. Wichtige Voraussetzung ist, dass das Gesamtsystem, insbesondere die Werkzeugmaschine, trockenbearbeitungsfähig ist oder entsprechend ausgerüstet werden kann.

Umwelt- und Arbeitsschutz bei der Nassbearbeitung

Bei der Nassbearbeitung ist insbesondere darauf zu achten, dass den aus den verwendeten KSS resultierenden Gefahrenpotenzialen mit vorbeugenden Maßnahmen Rechnung getragen wird:

- Ein KSS ist meist aus zehn bis zu dreißig Komponenten (Grundöl und eigenschaftsverbessernden Additiven) zusammengesetzt. Einige davon können sehr problematisch sein, z. B. **Biozide**, **Chlorparaffine**, sekundäre Amine, um nur ein paar Beispiele zu nennen. Bereits bei der Auswahl sollte daher auf möglichst umweltgerechte und humanverträgliche Inhaltsstoffe geachtet werden.
- KSS werden entweder in der Maschine (Einzelversorgung) oder über zentrale Versorgungsanlagen im Kreislauf geführt. Die teilweise großen Mengen wassergefährdender Stoffe bedingen Sicherungsmaßnahmen zum Gewässerschutz, sowohl bei der Lagerung, als auch beim Einsatz.
- Durch den Bearbeitungsprozess und über Fremdeinträge (Werkstücke, Luft, Mitarbeiter) gelangen weitere Schadstoffe in den KSS und führen insbesondere bei wassergemischten Systemen zu zusätzlichen Belastungen (z. B. Verkeimung). Bei wassergemischten KSS ist die Bildung von Nitrosaminen (krebserzeugend) zu vermeiden, dabei sind die Vorgaben der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 611 zu beachten: KSS dürfen keine sekundären Amine als Komponenten enthalten, der Nitrit-Gehalt muss gemessen werden und ist auf max. 20 mg/l begrenzt.
- Bei KSS-Ölen spielt der Brandschutz bei der Lagerung und insbesondere auch beim Einsatz in der Bearbeitungsmaschine eine bedeutende Rolle. Bei der Verwendung von KSS-Ölen sind die Vorgaben der Technischen Regeln für brennbare Flüssigkeiten (TRbF) (TRbF 01 Allgemeines, Aufbau und Anwendung der TRbF, TRbF 20 Läger, TRbF 50 Rohrleitungen, TRbF 60 Ortsbewegliche Behälter) zu beachten.
- Beim Betrieb der Bearbeitungsmaschinen ist neben dem Brandschutz auch der Explosionsschutz besonders zu berücksichtigen. Durch die starken Verwirbelungen in der Werkzeugmaschine und der hohen thermischen Belastung an der Bearbeitungsstelle bilden sich KSS-Nebel und -Dämpfe, so dass maschinenseitig Einrichtungen zum Brand- und Explosionsschutz vorhanden sein müssen. Bei neuen Maschinen muss der Bearbeitungsraum gekapselt sein.
- Trotz Maschinenraumkapselung lassen sich KSS-Emissionen nicht gänzlich vermeiden (z. B. bei der Werkstückbeschickung und Entnahme), so dass KSS-Nebel und -Dämpfe eine Gefährdung der Mitarbeiter darstellen können. Als Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) muss derzeit noch auf den alten MAK-Wert (maximale Arbeitsplatzkonzentration) zurückgegriffen werden. Der MAK-Wert lag bei 10 mg/m³.

- Beim Umgang mit KSS spielt der Hautschutz eine wichtige Rolle. Hautkontakte mit KSS lassen sich arbeitstechnisch kaum vermeiden, so dass es bedeutsam ist, auf hautschädigende KSS-Komponenten zu verzichten, Hautschutzpläne zu erstellen und die Mitarbeiter zu informieren (Arbeitsschutz). Hier bieten die Regeln und Informationsschriften der Berufsgenossenschaften (BGR 143 Umgang mit Kühlschmierstoffen und BGI 658 Hautschutz in Metallbetrieben) wichtige Hilfen.
- Beim Einsatz nichtwassermischbarer KSS (KKS-Öle) ist darauf zu achten, dass die Verschleppungsverluste über Späne und Werkstücke möglichst gering gehalten werden. Abtropfzonen und gegebenenfalls Späneschleudern sind wirkungsvolle Gegenmaßnahmen. Abgetrennte Öle können problemlos wieder in den KSS-Kreislauf zurückgeführt werden.
- Zu entsorgende KSS sind generell als **gefährlicher Abfall** (Sonderabfall) eingestuft. Während nichtwassermischbare KSS sehr lange Standzeiten aufweisen (oft "Lebensdauerfüllung") sind die wassergemischten KSS-Systeme wesentlich empfindlicher. Um vorzeitige Verkeimung zu vermeiden und um lange Badstandzeiten zu erzielen, ist eine regelmäßige Überwachung und Badpflege notwendig. In einzelversorgten Maschinen gelten Badstandzeiten von 1/2 Jahr und in Zentralanlagen von mindestens zwei Jahren als Anhaltswerte.

Gewindeschneiden und Räumen

Spanende Bearbeitungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide

Gewindeschneiden und Räumen sind zwei Bearbeitungsverfahren mit hohen Anforderungen an die Werkzeuge. Vorwiegend werden daher KSS-Öle als **Kühlschmierstoff (KSS)** eingesetzt. Emulsionen werden selten verwendet. In Einzelfällen bestehen jedoch auch bereits Anwendungserfahrungen mit **Trockenbearbeitung** bzw. Minimalmengen-Schmierung (MMS).

Tabelle: KSS-Verwendung und Erfahrungen mit Trockenbearbeitung/MMS beim Gewindeschneiden und Räumen

	Gewindeschneiden	Räumen
Bearbeitung von	**Bevorzugte KSS**	
Guss	Emulsion	Emulsion/Öl
Stählen	Öl/Emulsion	Öl
VA-Stählen	Öl	Öl
NE-Metallen	Öl	Öl
	Erfahrungen mit Trockenbearbeitung	
Guss	eingeschränkt	stark eingeschränkt
Stählen	stark eingeschränkt	kaum möglich
VA-Stählen	kaum möglich	kaum möglich
NE-Metallen	kaum möglich	kaum möglich
	Erfahrungen mit MMS	
Guss	gut	stark eingeschränkt
Stählen	sehr gut	kaum möglich
VA-Stählen	sehr schwierig	kaum möglich
NE-Metallen	gut	stark eingeschränkt

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Hinderlich für den verstärkten Einsatz der Trockenbearbeitung/MMS sind in erster Linie die schlechte Späne- und Wärmeabfuhr. Beim Gewindeschneiden in Al-Werkstoffen und bei Messing hat sich der MMS-Einsatz jedoch bereits in vielen Anwendungsbereichen bewährt.

Umwelt- und Arbeitsschutz bei der Nassbearbeitung

Da bei Bearbeitungsprozessen wie Gewindeschneiden und Räumen vorwiegend mit KSS-Ölen gearbeitet wird, liegen die Schwerpunkte der vorbeugenden Maßnahmen gegen Umweltrisiken beim Brand-, Explosions- und Gewässerschutz:

- Nichtwassermischbare KSS sind meist aus bis zu zehn Komponenten (Grundöl und eigenschaftsverbessernden Additiven) zusammengesetzt. Einige davon können sehr problematisch sein (z. B. **Chlorparaffine**, Aromaten, **Biozide**). Bereits bei der KSS-Auswahl sollte daher auf möglichst umweltgerechte und humanverträgliche Inhaltsstoffe geachtet werden.
- Bei KSS-Ölen spielt der Brandschutz beim Lagern und insbesondere auch beim Einsatz in der Bearbeitungsmaschine eine bedeutende Rolle. Bei der Verwendung von KSS-Ölen sind die Vorgaben der Technischen Regeln für brennbare Flüssigkeiten (TRbF), z. B. Brandschutz und Löschanlagen, zu beachten.
- Kühlschmierstoffe werden entweder in der Maschine (Einzelversorgung) oder über zentrale Versorgungsanlagen im Kreislauf geführt. Die teilweise großen Mengen wassergefährdender Stoffe bedingen Sicherungsmaßnahmen zum Gewässerschutz, sowohl bei der Lagerung, als auch beim Einsatz.
- Beim Betrieb der Bearbeitungsmaschinen ist neben dem Brandschutz auch der Explosionsschutz besonders zu berücksichtigen. Insbesondere durch die hohe thermische Belastung an der Bearbeitungsstelle bilden sich KSS-Nebel und -Dämpfe, sodass maschinenseitig Einrichtungen zum Brand- und Explosionsschutz vorhanden sein müssen. Bei neuen Maschinen muss der Bearbeitungsraum generell gekapselt sein.
- Trotz Maschinenraumkapselung lassen sich KSS-Emissionen nicht gänzlich vermeiden (z. B. bei der Werkstückbeschickung und Entnahme), sodass KSS-Nebel und -Dämpfe eine Gefährdung der Mitarbeiter darstellen können. Als Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) muss derzeit noch auf den ehemaligen MAK-Wert (maximale Arbeitsplatzkonzentration) zurückgegriffen werden. Der MAK-Wert lag bei 10 mg/m³.
- Beim Umgang mit KSS spielt der Hautschutz eine wichtige Rolle. Hautkontakte mit KSS lassen sich arbeitstechnisch kaum vermeiden, sodass es bedeutsam ist, auf hautschädigende KSS-Komponenten zu verzichten, Hautschutzpläne zu erstellen und die Mitarbeiter zu informieren (Arbeitsschutz). Hier bieten die Regeln und Informationsschriften der Berufsgenossenschaften (BGR 143 und BGI 658) wichtige Hilfen.
- Beim Einsatz nichtwassermischbarer KSS (KKS-Öle) ist darauf zu achten, dass die Verschleppungsverluste über Späne und Werkstücke möglichst gering sind. Abtropfzonen und gegebenenfalls Späneschleudern sind wirkungsvolle Gegenmaßnahmen. Abgetrennte Öle können problemlos wieder in den KSS-Kreislauf zurückgeführt werden.
- Zu entsorgende KSS sind generell als **Sonderabfall** eingestuft. **Nichtwassermischbare KSS** weisen jedoch in der Regel sehr lange Standzeiten auf (oft "Lebensdauerfüllung"), sodass sie nur bei Reparaturen und in Ausnahmefällen zur **Entsorgung** anfallen.

Schleifen und Honen

Spanende Bearbeitungsverfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide

Schleif-, Hon- (bei Einsatz von Honsteinen) und Läppprozesse sind typische Vertreter für Metallbearbeitungsverfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide. Bei diesen Bearbeitungsverfahren werden nur sehr feine Metallspäne von der Oberfläche abgetragen. Der Spanprozess erfolgt unter vergleichsweise großer Wärmeentwicklung, so dass die Hauptaufgabe der eingesetzten **Kühlschmierstoffe (KSS)** die Kühlung und das Freispülen der Werkzeuge (z. B. der Schleifscheibe) ist.

Bild: Schleifen mit KSS

Quelle: Fuchs Petrolub, Mannheim

Die **Trockenbearbeitung** ist daher nach heutigen Erkenntnissen nur in Ausnahmefällen möglich, z. B. beim Anschleifen von Planflächen in der Federnherstellung. Teilweise können Schleifprozesse auch durch das kühlschmierstofffreie Hartdrehen substituiert werden. Analog zur Trockenbearbeitung entfallen beim Hartdrehen alle KSS-bedingten Umweltbelastungen und Kosten.

Je nach zu bearbeitendem Werkstoff werden bei Schleifprozessen in der Regel KSS-Emulsionen und -Lösungen eingesetzt. Bei hohen Anforderungen an die Werkstückoberfläche sowie beim Honen hingegen kommen vorwiegend KSS-Öle mit niedriger Viskosität zum Einsatz.

Tabelle: KSS-Verwendung bei Schleif- und Honprozessen

	Schleifen	Honen
Bearbeitung von	**Bevorzugte KSS**	
Guss	Lösung/Emulsion	Öl
Stählen	Lösung/Emulsion/Öl	Öl
VA-Stählen	Lösung/Emulsion	Öl
NE-Metallen	Lösung/Emulsion	Öl

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Umwelt- und Arbeitsschutz beim Schleifen und Honen

Da bei Bearbeitungsverfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide überwiegend mit KSS gearbeitet wird, ist insbesondere darauf zu achten, dass den resultierenden Gefahrenpotenzialen mit vorbeugenden Maßnahmen Rechnung getragen wird. Insbesondere beim Schleifen erfolgt eine sehr starke Vernebelung der eingesetzten KSS. Arbeits- und Explosionsschutz sowie Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung von Schleifschlämmen sind daher die bedeutendsten Umweltaspekte.

Darauf sollten Sie achten:

- Bereits bei der KSS-Auswahl sollte auf möglichst umweltgerechte und humanverträgliche Inhaltsstoffe geachtet werden. Ein KSS ist meist aus zehn bis zu dreißig Komponenten (Grundöl und eigenschaftsverbessernden Additiven) zusammengesetzt. Einige davon können sehr problematisch sein, z. B. **Biozide**, sekundäre Amine. Chlorhaltige KSS sind bei Schleifprozessen generell nicht erforderlich.

- Bei Schleifmaschinen ist neben dem Brandschutz der Explosionsschutz besonders zu berücksichtigen. Durch die starke Verwirbelung in der Werkzeugmaschine und der hohen thermischen Belastung an der Bearbeitungsstelle bilden sich KSS-Nebel und -Dämpfe, so dass maschinenseitig Einrichtungen zum Brand- und Explosionsschutz vorhanden sein müssen. Bei neuen Maschinen muss der Bearbeitungsraum generell gekapselt sein. Bei offenen Maschinen sollte eine wirksame Absaugung installiert sein.
- Brandschutz: Bei der Verwendung von KSS-Ölen sind die Vorgaben der Technischen Regeln für brennbare Flüssigkeiten (TRbF) zu beachten.
- Trotz Maschinenraumkapselung lassen sich KSS-Emissionen nicht gänzlich vermeiden (z.B. bei der Werkstückbeschickung und Entnahme), sodass KSS-Nebel und -Dämpfe eine Gefährdung der Mitarbeiter darstellen können. Als **Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)** muss derzeit noch auf den alten MAK-Wert zurückgegriffen werden. Der MAK-Wert lag bei 10 mg/m³.
- Abfallvermeidung: Insbesondere beim Einsatz von KSS-Ölen ist darauf zu achten, dass die Verschleppungsverluste über Werkstücke und insbesondere über die Schleifschlämme möglichst gering gehalten werden. Abtropfzonen und gegebenenfalls Schlammpressen sind wirkungsvolle Maßnahmen. Abgetrennte Öle können problemlos wieder in den KSS-Kreislauf zurückgeführt werden.
- KSS werden entweder in der Maschine (Einzelversorgung) oder über zentrale Versorgungsanlagen im Kreislauf geführt. Die teilweise großen Mengen wassergefährdender Stoffe bedingen Sicherungsmaßnahmen zum Gewässerschutz, sowohl bei der Lagerung, als auch beim Einsatz.
- Durch den Bearbeitungsprozess und über Fremdeinträge (Werkstücke, Luft, Mitarbeiter) gelangen weitere Schadstoffe in den KSS und führen insbesondere bei wassergemischten Systemen zu zusätzlichen Belastungen (z. B. Verkeimung). Zur Vermeidung der möglichen Bildung von Nitrosaminen (krebserzeugend) bei wassergemischten KSS sind die Vorgaben der Technischen Regel für Gefahrstoff (TRGS) 611 zu beachten: KSS dürfen keine sekundären Amine als Komponenten enthalten. Der Nitrit-Gehalt muss gemessen werden und ist auf max. 20 mg/l begrenzt.
- Beim Umgang mit KSS spielt auch der Hautschutz eine wichtige Rolle. Hautkontakte mit KSS lassen sich arbeitstechnisch kaum vermeiden, sodass es bedeutsam ist, auf hautschädigende KSS-Komponenten zu verzichten, Hautschutzpläne zu erstellen und die Mitarbeiter zu informieren (Arbeitsschutz). Hier bieten die Regeln und Informationsschriften der Berufsgenossenschaften (BGR 143 und BGI 658) wichtige Hilfen.
- Zu entsorgende KSS sowie ölhaltige Schleifschlämme sind generell als **gefährlicher Abfall** (Sonderabfall) eingestuft. Während **-Lösungen** sehr lange Standzeiten aufweisen (oft "Lebensdauerfüllung") sind die wassergemischten KSS-Systeme wesentlich empfindlicher. Um vorzeitige Verkeimung zu vermeiden und um lange Badstandzeiten zu erzielen, ist eine regelmäßige Überwachung und Badpflege notwendig. In einzelversorgten Maschinen gelten Badstandzeiten von 1/2 Jahr und in Zentralanlagen von mindestens zwei Jahren als Anhaltswerte.

Schleifschlämme können Ölgehalte von bis zu 60 % und darüber aufweisen. Verfahren zur Abtrennung des Ölanteils rentieren sich daher schon bei Anfallmengen von 10 t/a. Außerdem verbessert ein geringerer Ölgehalt die Verwertungsmöglichkeiten.

Weitere Informationen zur Abfallvermeidung und zu Verwertungsmöglichkeiten von Schleifschlämmen finden Sie auf der nächsten Seite.

Schleifschlämme - Abfallvermeidungsmöglichkeiten und innerbetriebliche Behandlung

Ölhaltige Schleifschlämme fallen nahezu bei allen spanenden Metallbearbeitungsprozessen an. Sie resultieren nicht nur aus Schleif-, Hon- und ähnlichen Prozessen, sondern auch als Feinfraktion aus der Filtration der **Kühlschmierstoffe (KSS)** in der spanenden Bearbeitung allgemein. Schleifschlämme sind als **gefährliche Abfälle** mit dem Abfallschlüssel 12 01 18* "ölhaltige Metallschlämme (Schleif-, Hon- und Läppschlämme)" eingestuft. Die Anfallmenge in Baden-Württemberg wird auf ca. 20.000 t/a, bundesweit auf ca. 220.000 t/a geschätzt, Tendenz leicht steigend. Konsistenz und Inhaltsstoffe (feine Metallpartikel, Schleifmittelabrieb, KSS, eventuell Filterhilfsmittel) schwanken, abhängig vom Entstehungsprozess sowie den verarbeiteten Werk- und eingesetzten Hilfsstoffen in großer Bandbreite. Für die Beseitigung und insbesondere für die Verwertung ist die Kenntnis der Zusammensetzung und der Konsistenz wichtig.

Tabelle: Bandbreite der Inhaltsstoffe in ölhaltigen Metallschlämmen (Schleif-, Hon- und Läppschlämme)

Komponente	Bandbreite
Metallgehalt (Fe + NE)	10 - 80%
Gehalt an Schleifmittelabrieb	2 - 75%
Ölgehalt (Kohlenwasserstoffe) - Emulsionen/Lösungen - Öle	0 - 50% 1 - 20% 15 - 50%
Wassergehalt	5 - 75 %
Filterhilfsmittel	0 - 80%

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

In vielen Betrieben fallen unterschiedliche Schleifschlammqualitäten an. Für eine Verwertung (inzwischen stehen etliche Verwertungsoptionen zur Verfügung) ist die sortenreine Erfassung und Lagerung von Bedeutung.

Deshalb sollten Sie:

- Hartmetallschlämme separat sammeln (hier erhalten Sie vom Entsorger eine Vergütung)
- Stark ölhaltige Schleifschlämme getrennt halten von Schleifschlämmen aus der Bearbeitung mit KSS-Emulsionen oder -Lösungen.
- Schleifschlämme und Filterhilfsmittel (insbesondere Filtervliese) nach Möglichkeit getrennt erfassen

Betriebsinterne Maßnahmen zur Abfallreduzierung

Vermeidung steht vor Verminderung: Bereits bei der Produktentwicklung sollten Überlegungen einbezogen werden, wie Schleifprozesse vermieden werden können: z. B. durch Konstruktionsänderungen, gebaute Komponenten, andere Formgebungsverfahren wie Pulvermetallurgie und Feindruckguss.

Ansatzpunkte für Verminderungsmaßnahmen sind:

- Reduzieren der Aufmaße. Möglichst endabmessungsnahe Halbzeuge und Werkstücke reduzieren nicht nur die Abfallmenge, sondern auch den Materialeinsatz und den Fertigungsaufwand. Bei Einzelteilfertigung bzw. kleinen Stückzahlen ist dies jedoch nicht immer realisierbar.
- Verzicht auf Kühlschmierstoffe. Spanende Verfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide, so auch das Schleifen, sind nicht gerade für die **Trockenbearbeitung** prädestiniert. In Einzelfällen ist jedoch auch ein trockener Schleifprozess möglich, so dass statt Schleifschlämmen nur trockene Metallstäube anfallen. Diese sind wesentlich besser metallurgisch verwertbar. Teilweise können Schleifprozesse auch durch das kühlschmierstofffreie Hartdrehen substituiert werden.
- Innerbetriebliche Vorbehandlung. Mit den Schleifschlämmen werden bis zu 60 % an Kühlschmierstoffen aus dem Maschinenkreislauf ausgetragen. Pro Tonne Schleifschlamm gehen damit bis zu 600 Liter KSS verloren. Insbesondere bei Verwendung von KSS-Ölen ist daher eine Entölung mit Ölrückführung finanziell interessant.

Ziele einer innerbetrieblichen Vorbehandlung von Schleifschlämmen sind:

- die Austragsverluste möglichst gering zu halten

- die Entsorgungsmengen zu reduzieren und
- die Verwertungsmöglichkeiten des Schleifschlamms durch reduzierten Öl- und Fremdstoffgehalt zu verbessern.

Erster Ansatzpunkt ist der eigentliche Filtrationsprozess. Bei den üblichen Anforderungen an die Filterfeinheit (bis 20 µm) finden heute vorwiegend Bandfilter unterschiedlicher Bauart mit Filtervliesen aus Papier und Kunststoffgeweben breite Anwendung. Das dabei anfallende Gemisch aus Filtervlies und Schleifschlamm ist jedoch zunehmend schwierig zu entsorgen. Eine Lösung bietet der Einsatz von hilfsmittelfreien Filtrationsverfahren (z. B. Umlaufbandfilter, Trommelspaltfilter, rückspülbare Filtersysteme (ohne Anschwemmmittel!), Zentrifugen, Absetzbecken mit mechanischem Schlammaustrag usw.). Bei der Systemauswahl ist auf einen (möglichst niedrigen) Restöl-/Restfeuchtegehalt des Schleifschlamms und geringen Energieverbrauch zu achten. Bei der Verarbeitung ferromagnetischer Werkstoffe können Magnetabscheider eingesetzt werden. Für die Entfernung nichtmagnetischer Inhaltsstoffe muss jedoch ein zusätzliches Filtersystem installiert werden. Die Abtrennung und Rückführung mit dem Schleifschlamm ausgetragener KSS kann sich insbesondere bei KSS-Ölen schnell lohnen. Umgehend (d. h. möglichst ohne längere Zwischenlagerung) aus den Schlämmen abgetrennte KSS-Öle können in der Regel direkt in den KSS-Kreislauf zurückgeführt werden. Bei KSS-Emulsionen und -Lösungen sollte in Rücksprache mit dem KSS-Lieferanten geprüft werden, ob sie wieder eingesetzt werden können.

Für die betriebsinterne Entwässerung/ Entölung stehen in der Praxis im Wesentlichen die drei folgenden Verfahren zur Verfügung:

- Entwässerung im Sammelcontainer
- Abpressen und
- Zentrifugieren

Bei moderaten Investitionen sind bereits bei Anfallmengen von 10 t/a Amortisationszeiten von unter zwei Jahren zu erzielen.

Grafik: Ölrückgewinnung aus Schleifschlämmen durch Abpressen

→ jährliche Einsparung: 4.500,- €/a; Amortisationszeit: ca. 1,8 Jahre

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Eine weitergehende Entölung ist zwar technisch möglich, wegen der hohen Investitionskosten jedoch nur bei sehr großen Mengen, d. h. in externen Zentralanlagen, wirtschaftlich realisierbar. Getrennte Sammlung: Nach der Konditionierung ist in der Regel eine metallurgische Verwertung möglich. Bei verschiedenen Schleifschlammqualitäten sollte die betriebsinterne Erfassung so erfolgen, dass die Annahmekriterien der verfügbaren Verwertungsanlagen (Werkstoffgruppen, Ölgehalt, Schadstoffe) eingehalten werden können.

Schleifschlämme - Verwertungsmöglichkeiten

Verwertungsmöglichkeiten/Entsorgung

Im Laufe der Jahre wurden bundesweit verschiedene Verwertungsschienen für ölhaltige Schleifschlämme aufgebaut. Ansatzpunkt sind die wertmäßig relevanten Fraktionen an Metallen sowie der Ölanteil.

Bild: Mischbrikett für den Einsatz in Stahlwerken/Gießereien

Quelle: Fa. Lang, Gaggenau

Der Öl- bzw. Kohlenwasserstoff-Gehalt ist einer der wichtigsten Parameter für die Nutzbarkeit einer Verwertungs- oder auch Beseitigungsschiene. In vielen Fällen ist zur Realisierung von stofflichen Verwertungsmöglichkeiten eine vorherige Entölung/ Konditionierung der Schleifschlämme unumgänglich. Anlagen hierzu sind teilweise kommerziell verfügbar oder befinden sich in der Erprobung:

- Brikettierung: Vorwiegend für emulsionshaltige Schleifschlämme geeignet. Die Späne werden mit ca. 20 % Schleifschlämmen gleicher Werkstoffsorte vermischt und zu mechanisch belastbaren Briketts verpresst (Mischbrikettierung). Die Restölgehalte liegen dabei unter 2 %, sodass die Briketts in Stahlwerken und Gießereien eingeschmolzen werden können. In Deutschland werden derzeit sechs Brikettieranlagen von Entsorgern bzw. Metallrecyclingunternehmen betrieben, zwei davon in Baden-Württemberg.
- Sinterung: Je nach Anlagenauslegung mit unterschiedlichen Annahmekriterien, mehrere Anlagen in Deutschland
- Entölung durch Vakuum-Trocknung: Vorwiegend für hochölhaltige Schleifschlämme (abgetrennte Öle können teilweise als KSS wieder eingesetzt werden)
- Entölung durch Ausbrennen der organischen Bestandteile. Ausgelegt für mittlere Ölgehalte, wobei der Ölanteil verloren geht.
- Entölung mittels überkritischer Kohlendioxid-Extraktion: Vorwiegend für hochölhaltige Schleifschlämme (abgetrennte Öle können als KSS wieder eingesetzt werden). Das Verfahren wurde bisher nur im Technikumsmaßstab realisiert.

Zur Verwertung der Metallkomponente werden derzeit im Wesentlichen vier Wege beschritten:

- Verhüttung (Hochofen)
- Einsatz in Stahlwerken/Gießereien (vorherige Entölung/Konditionierung erforderlich)
- Rückgewinnung hochwertiger Legierungselemente (VA-Stähle, Hartmetalle)
- Fe-Zuschlag in Zementwerken

Fallen in einem Betrieb verschiedene Fraktionen ölhaltiger Schleifschlämme an, so sollte die betriebsinterne Sammlung so erfolgen, dass die Annahmekriterien verfügbarer Verwertungsanlagen (z. B. enthaltene Legierungselemente, Ölgehalt, Stör- und Schadstoffe) erfüllt werden können.

Für die aufgeführten Verwertungswege sind überwiegend große Mengen bekannter Zusammensetzungen interessant. Die Zusammenstellung zu großen Chargen erfolgt daher in der Regel durch Recyclingbetriebe der Schrottwirtschaft und Betreiber von Konditionierungs- und Entölungsanlagen, die damit Ansprechpartner für die Betriebe sind. Eine Verwerterliste ist bei der ABAG-itm GmbH erhältlich.

Ist keine Verwertung möglich, so müssen ölhaltige Schleifschlämme als **gefährlicher Abfall** (Sonderabfall) unter dem Abfallschlüssel 12 01 18* ölhaltige Metallschlämme (Schleif, Hon- und Läppschlämme) beseitigt werden.

Nassbearbeitung

Metallbearbeitung unter Einsatz von Kühlschmierstoffen (Nassbearbeitung)

Bei allen spanenden Bearbeitungsverfahren werden die mechanischen Kräfte letztendlich in Wärme umgewandelt, die in irgendeiner Form aus der Werkzeugmaschine abgeführt werden muss. Um einerseits die Wärmeentwicklung zu reduzieren und andererseits die Wärme sowie die entstehenden Späne von der Bearbeitungsstelle abzuführen setzt man seit vielen Jahren Kühlschmierstoffe (KSS) ein. Mit dem KSS-Einsatz konnte die Bearbeitungseffektivität erheblich gesteigert werden.

Aufgabenspektrum von Kühlschmierstoffen

Quelle: wbk Karlsruhe

Mit dem Einsatz von KSS sind viele Bearbeitungsprozesse überhaupt erst industriell möglich geworden. Wo also liegt das Problem?

Über 95 % der spanenden Metallbearbeitung erfolgt derzeit unter Einsatz von Kühlschmierstoffen (KSS). In Deutschland werden derzeit jährlich ca. 74.000 t KSS zur Metallbearbeitung eingesetzt. Zu unterscheiden ist dabei zwischen nichtwassermischbaren KSS (nwm-KSS oder KSS-Ölen) und wassergemischten KSS (wmb-KSS: KSS-Emulsionen oder KSS-Lösungen). Bei letzteren werden die Konzentrate mit 90 bis 97 % Wasser zu gebrauchsfähigen Mischungen angesetzt. Aus einem Liter Konzentrat erhält man beispielsweise bei einer 5 %igen Mischung 20 Liter gebrauchsfähigen KSS. Hochgerechnet werden so aus 30.700 t Konzentrat ca. 614.000 t wassergemischte KSS.

KSS-Anteil am Schmierstoffverbrauch in Deutschland

Quelle: Bundesamt f. Wirtschaft, 2008

Bieten die KSS einerseits technologische Vorteile, so sind mit deren Einsatz auch Umweltrisiken und ein nicht zu unterschätzender Aufwand für den Betrieb verbunden. KSS stellen in der Regel bezüglich Brandgefahr, Wassergefährdung und Arbeitsschutz gefährliche Stoffe dar und müssen daher unter entsprechenden Sicherheitsmaßnahmen gelagert, eingesetzt und entsorgt werden. Die rechtlichen Anforderungen, die sich daraus für jeden Betrieb der KSS einsetzt ergeben, sind vom eingesetzten KSS-Typ und vom Gefährdungspotenzial der jeweiligen (gefährlichen) Inhaltsstoffe abhängig.

Einteilung der Kühlschmierstoffe und Anforderungsbereiche

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Ein KSS setzt sich aus fünf bis zu dreißig Komponenten (Grundöle und eigenschaftsverbessernde Additive) zusammen. Davon weisen einige ein hohes Umweltgefährdungspotenzial auf (z. B. Biozide, Chlorparaffine, sekundäre Amine). Zusätzlich gelangen durch den Bearbeitungsprozess und über Fremdeinträge (Werkstücke, Luft, Mitarbeiter) Schadstoffe in die im Kreislauf geführten KSS und führen insbesondere bei wassergemischten Systemen zu zusätzlichen Belastungen (z.B. Verkeimung).

Bei der Auswahl eines geeigneten KSS sollten Sie daher nicht nur technologische Aspekte, sondern auch die Aspekte des Umweltschutzes und des Arbeitsschutzes mit berücksichtigen. Hilfen zur KSS-Auswahl finden Sie auf der Seite Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Kühlschmierstoffe > Auswahl. Ergänzend sollte insbesondere bei Neuinvestitionen die Möglichkeiten der Trockenbearbeitung/MMS geprüft werden.

Nachfolgend die wichtigsten Umweltbereiche, die beim KSS-Einsatz mit den betreffenden rechtlichen Regelungen zu berücksichtigen sind:

Gewässerschutz: KSS werden entweder in der Maschine oder über zentrale Versorgungsanlagen im Kreislauf geführt. In Abhängigkeit von der **Wassergefährdungsklasse** (WGK) bedingen die teilweise großen Mengen wassergefährdender Stoffe Sicherungsmaßnahmen zum Gewässerschutz. Beachten Sie bei Lagerung und Umgang mit KSS die Vorgaben des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) und der Anlagenverordnung wassergefährdender Stoffe (VAwS).

Brandschutz: Nur bei KSS-Ölen spielt der Brandschutz sowohl bei der Lagerung als insbesondere auch in der Bearbeitungsmaschine sicherheitstechnisch eine bedeutende Rolle. Durch die starken Verwirbelungen in der Werkzeugmaschine und der hohen thermischen Belastung an der Bearbeitungsstelle kommt es zur Bildung von KSS-Nebel und -Dämpfen, so dass maschinenseitig Einrichtungen zum Brand- und Explosionsschutz vorhanden sein müssen. Bei neuen Maschinen muss der Bearbeitungsraum gekapselt sein.

Beim Umgang und der Lagerung von KSS-Ölen sind die Vorgaben der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) und der *Technischen Regeln für brennbare Flüssigkeiten (**TRbF**)* bezüglich des Brandschutzes zu beachten.

Arbeitsschutz: Zu allen Themen des Arbeitsschutzes bieten die Merkblätter und Informationsschriften der Berufsgenossenschaften (BGR 143 und BGI 658) wichtige Informationsquellen und Hilfen. Trotz Maschinenraumkapselung lassen sich KSS-Emissionen nicht gänzlich vermeiden (z. B. bei der Werkstückbeschickung und Entnahme), so dass KSS-Nebel und Dämpfe eine Gefährdung der Mitarbeiter darstellen können. Als Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) kann auf den bisherigen MAK-Wert zurückgegriffen werden. Der MAK-Wert lag bei 10 mg/m³. Ein weiterer wichtiger Aspekt des Arbeitsschutzes betrifft den Hautschutz. Hautkontakte mit KSS können arbeitstechnisch kaum vermieden werden. Der Vermeidung von hautschädigenden KSS-Komponenten, Hautschutzplänen und der Information der Mitarbeiter kommt daher eine wichtige Rolle zu. Bei Fragen zum Arbeitsschutz sollten auch die KSS-Hersteller mit herangezogen werden.

Zur Vermeidung der möglichen Bildung von Nitrosaminen (krebserzeugend) bei wassergemischten KSS sind die Vorgaben der TRGS 611 zu beachten: KSS dürfen keine sekundären Amine enthalten, der Nitrit-Gehalt ist zu messen und darf 20 mg/l nicht überschreiten.

Zur Information über umweltrelevante Inhaltsstoffe der bei Ihnen eingesetzten KSS beschaffen Sie sich die zugehörigen Sicherheitsdatenblätter. Weiterhin empfiehlt es sich auch für kleinere Betriebe einen Mitarbeiter als KSS-Beauftragten zu bestimmen. Dieser sollte sowohl als interner Ansprechpartner über alle KSS-relevanten Fragen informiert sein, als auch für die Lieferanten als erster Ansprechpartner ausgewiesen sein. Weitere Hinweise zum Arbeitsschutz finden Sie im Bereich Rechtsgrundlagen > Arbeitsschutz.

Zu entsorgende KSS sind generell als **gefährlicher Abfall** eingestuft.

- Für nichtwassermischbare KSS: AVV 12 01 06*; 12 01 07*; 12 01 10*; 12 01 19*
- Für wassergemischte KSS: AVV 12 01 08*; 12 01 09*

Während nichtwassermischbare KSS sehr lange Standzeiten aufweisen (oft "Lebensdauerfüllung") sind die wassergemischten Systeme wesentlich empfindlicher. Zur Vermeidung vorzeitiger Verkeimung und zur Erzielung langer Badstandzeiten ist eine regelmäßige Überwachung und Badpflege notwendig. In einzelversorgten Maschinen gelten Badstandzeiten von ½ Jahr und in Zentralanlagen von mindestens zwei Jahren als Anhaltswerte.

Neben unbrauchbar gewordenen KSS resultieren noch weitere, im Wesentlichen KSS-bedingte Abfälle aus der spanenden Metallbearbeitung wie:

- Ölhaltige Schleif, Hon- und Läppschlämme (AVV 12 01 18*)
- KSS-getränkte Filtermittel (Filtervliese, Filterpatronen) (AVV 15 02 02*)

- Ölbindemittel (Aufsaugmittel für verspritzte, verschüttete KSS)(AVV 15 02 02*)
- KSS-verunreinigte Putztücher und Arbeitskleidung (AVV 15 02 02*; 15 02 03)
- Verölte Späne (insbesondere beim Einsatz nichtwassermischbarer KSS) (AVV 12 01 18*; AVV 12 01 01; 12 01 03)

Nicht zuletzt sind natürlich auch die bearbeiteten Werkstücke beim Verlassen der Maschine mit KSS behaftet (lässt sich durch Abtropfen, Schleudern usw. reduzieren) und müssen meist vor der Weiterverarbeitung gereinigt werden, mit entsprechenden Umweltbelastungen des eingesetzten Reinigungsverfahrens.

Versorgung der Werkzeugmaschinen mit Kühlschmierstoffen

Die Versorgung der Bearbeitungsstelle mit Kühlschmierstoffen (KSS) erfolgt entweder über ein in der Werkzeugmaschine enthaltenes System (Einzelversorgung) oder über eine zentrale Versorgungseinheit, die mehrere Maschinen bedient (Zentralanlage). Bei beiden Systemen werden die KSS im Kreislauf geführt. Hauptaufgaben der KSS-Versorgung sind

- die zuverlässige Bereitstellung von KSS an den Bearbeitungsstellen
- den Erhalt der KSS im gebrauchsfähigen Zustand (Badpflege)

Die Konzeption der Versorgungsanlagen richtet sich daher nach dem verwendeten KSS, dem Bearbeitungsverfahren und den zu bearbeiteten Werkstoffen. Für die Entscheidung, ob eine Einzel- oder Zentralversorgung besser ist, sind neben Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen auch die räumlichen Verhältnisse (Standorte der Maschinen, Möglichkeiten der Leitungsverlegung) und die erforderliche Flexibilität (Maschinenverlagerungen) maßgebend.

Auch bei der KSS-Versorgung gilt der Grundsatz: Nur so viel wie nötig. "Sicherheitshalber" eingesetzte große KSS-Mengen bedingen unnötige Kosten.

Energietipp: Pumpen nicht gegen gedrosselte Ventile laufen lassen. Die Bedarfsregelung über drehzahlgesteuerte Pumpen spart Energie.

Nicht nur bezüglich des Umweltschutzes haben Zentralanlagen viele Vorteile, sie sind in der Regel auch wirtschaftlicher.

Wie oben erwähnt ist eine Hauptaufgabe der Versorgungstechnik der Erhalt des KSS in gebrauchsfähigem Zustand, also die KSS-Pflege. Je nach eingesetztem KSS-Typ, dem Bearbeitungsprozess und den bearbeiteten Werkstoffen können die hierfür erforderlichen Maßnahmen sehr unterschiedlich sein. Ziel ist in jedem Fall eine lange Badstandzeit zu erreichen und dabei möglichst wirtschaftlich zu produzieren.

Das Aufgabenspektrum der KSS-Pflege beinhaltet zwar nur drei wesentliche Aspekte

- die Entfernung eingetragener Verunreinigungen (Fremdöle, Feststoffe),
- die Vermeidung biologischer und chemischer Umwandlungsprozesse
- die Temperierung

kann aber, was die erforderlichen Techniken und den Aufwand anbetrifft, sehr unterschiedlich sein.

KSS-Öle (**nichtwassermischbare KSS**) sind in der Beschaffung vergleichsweise teuer, bezüglich der Kreislaufführung jedoch relativ einfach zu handhaben und weisen in der Regel sehr lange Standzeiten auf. Die Badpflege beschränkt sich meist auf die Entfernung der Späne (Spänesieb) und die Abfiltrierung der Feinanteile (Schleifschlamm), sowie erforderlichenfalls eine Temperierung. Bei der Filtrierung sollte nach Möglichkeit ein hilfsmittelfreies Filtersystem eingesetzt werden. Deutlich komplexer gestaltet sich die Badpflege bei **wassergemischten KSS** (Emulsionen, Lösungen).

Durch den hohen Wasseranteil, verbunden mit organischen Inhaltsstoffen (Öle, Emulgatoren usw.) sind Emulsionen und Lösungen wesentlich empfindlicher gegen Fremdstoffeinträge und neigen zur **Verkeimung**. Nur mit geeigneten Badpflegemaßnahmen (Abtrennung von Fremdölen, Entfernung von Feststoffen, ausreichende Belüftung und erforderlichenfalls Kühlung) lassen sich gute Badstandzeiten erzielen. Als Anhaltswerte gelten hier ½ Jahr für einzelversorgte Maschinen und 2 bis 3 Jahre bei Zentralanlagen.

Informationen zu Verfahren und Einsatzbereichen geeigneter Reinigungs- und Pflegemaßnahmen finden Sie im Bereich Kühlschmierstoffe > wassermischbare Kühlschmierstoffe > Abfallvermeidung.

Grafik: Kostenentwicklung bei KSS-Emulsionen in Abhängigkeit von der Badstandzeit

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Die Grafik veranschaulicht, dass gerade bei Badstandzeiten im Wochenbereich Optimierungsmaßnahmen mit einer deutlichen Kostenreduzierung verbunden sind.

Bei wassergemischten KSS vermeiden Sie verstärktes Keimwachstum durch ausreichende Belüftung, insbesondere bei Maschinenstillstandszeiten. Einfache Maßnahmen wie z. B. periodisches Umwälzen (Zeitschaltuhr) oder das Einblasen von sauberer (!) Luft in den KSS-Behälter, lassen sich auch bei kleinen Anlagen kostengünstig realisieren.

Die Erfahrung belegt, dass Standzeiten über 6 Monate überwiegend mit Zentralanlagentechnik erzielt werden. Aus umwelttechnischer Sicht haben Zentralanlagen damit den Vorteil eines deutlich geringeren Abfallaufkommens, in der Regel verbunden mit Vorteilen beim Arbeitsschutz durch bessere Pflege- und Überwachungsmöglichkeiten des KSS.

Einzelversorgung oder Zentralanlage, was ist wann effektiver?

Schon durch die größeren Badvolumina (und die darin enthaltenen höheren Materialwerte), wird deutlich, dass bei größeren Anlagen auch eine höherwertige Technik bei reduziertem Aufwand zur Überwachung und Pflege der KSS eingesetzt werden kann. Zudem findet eine bessere Vermischung und eine Nivellierung bei lokal höherer Temperaturbelastung statt. Es lohnt sich also die Einsatzmöglichkeiten der Zentralanlagentechnik zu prüfen.

Bild: Kleine KSS-Zentralversorgung

Quelle: IAG, Hamburg

Wesentliche Voraussetzungen für den Einsatz einer Zentralversorgung sind:

- Es muss ein einheitlicher Kühlschmierstoff verwendbar sein
- Die räumlichen Platzverhältnisse (idealerweise Unterkellerung) müssen geeignet sein
- Die zu versorgenden Maschinen sollten nicht zu weit auseinander stehen
- Bearbeitungsverfahren und verarbeitete Werkstoffe müssen zusammen mit dem gemeinsamen KSS chemikalienverträglich sein.

Haben Sie mehrere KSS gleichen Typs (Öle, Emulsionen oder Lösungen) im Einsatz, so sollten Sie die Möglichkeiten einer Vereinheitlichung überprüfen. Details hierzu finden Sie im Bereich Einsatzstoffe > Kühlschmierstoffe > KSS Auswahl. Häufig sind durch gewachsene Strukturen (zu) viele KSS-Produkte im Einsatz. In Abhängigkeit vom Bearbeitungsspektrum kann die KSS-Produktpalette meist eingeschränkt werden (Zielsetzung: 1 Emulsion, 1 Lösung, maximal 2 Öle). Neben der Voraussetzung für eine Zentralversorgung hat die Vereinheitlichung folgende Vorteile: Einfachere Lagerung, verbesserte Logistik, geringere Verwechslungsgefahr, Wegfall von Zwischenreinigungsprozessen. Zentralanlagen werden heute im Größenbereich von 2 bis 100m³ eingesetzt. Das Volumen richtet sich nach dem durchschnittlichen KSS-Bedarf der angeschlossenen Maschinen. Als Richtgröße gilt für wassergemischte KSS eine Umlaufzahl (umgewälztes Badvolumen pro Stunde) von 6 bis 10. Bei den teilweise großen Mengen wassergefährdender Stoffe sind die Sicherheitsmaßnahmen zum Gewässerschutz gemäß Wasserhaushaltsgesetz (**WHG**) und Anlagenverordnung **wassergefährdender Stoffe** (**VAwS**) zu beachten.

Vorteile mit Umweltrelevanz beim Einsatz der Zentralanlagentechnik

Ressourcenschonung	• Geringerer KSS-Verbrauch durch längere Badstandzeiten
Abfallreduzierung	• Geringere Entsorgungsmengen durch längere Badstandzeiten

	• Weniger Filteranlagen (z. B. Bandfilter) erforderlich • Bessere Pflege- und Überwachungsmöglichkeiten
Energie	• Weniger Filteranlagen und Nebenaggregate, bessere Pumpensteuerung
Gewässer- und Bodenschutz	• Bessere Schutz- und Überwachungsmöglichkeiten • Reduzierte Lagermengen durch verringerte Sortenvielfalt
Arbeitsschutz	• Bessere Pflege- und Überwachungsmöglichkeiten • Weniger Handlings- und Reinigungstätigkeiten erforderlich

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Aufwand und Kosten aus dem Kühlschmierstoff-Einsatz

Mit der Verwendung von Kühlschmierstoffen (KSS) konnte die Effektivität vieler Bearbeitungsprozesse erheblich gesteigert werden. Manche Prozesse sind durch KSS überhaupt erst industriell möglich geworden. Andererseits ist mit dem KSS-Einsatz ein erheblicher Aufwand verbunden, der auch die Werkzeugkosten übersteigen kann.

Grafik: KSS-bedingte Kosten bei der Metallbearbeitung

Quelle: Statistisches Bundesamt, 1999

Direkte Kostenfaktoren sind keineswegs nur die Beschaffungs- und Entsorgungskosten, sondern resultieren auch aus zusätzlichen Investitionen zur KSS-Ver- und -Entsorgung (Behälter, Rohrleitungen, Pumpen, Absaugung, Filtrationseinrichtungen usw.) sowie aus Personalkosten für die KSS-Überwachung und -Pflege und dem Reinigungsaufwand. Da KSS in der Regel bezüglich Wassergefährdung, Brandgefahr und Arbeitsschutz **gefährliche Stoffe** darstellen, müssen sie unter entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen gelagert, eingesetzt und entsorgt werden. Ein Teil der Kosten resultiert folglich auch aus Umwelt- und Arbeitsschutzanforderungen. Zusätzlich sollten auch die indirekten Kosten mit betrachtet werden, die bei Nebenprozessen (z. B. Entölung von Spänen) sowie in der Prozessfolge, z. B. bei der Werkstückreinigung, entstehen.

Verschiedene Untersuchungen in Baden-Württemberg haben ergeben, dass sich die KSS-bedingten Kosten in der Praxis in einer Bandbreite von 2 bis 8 % der Fertigungskosten bewegen, also in eine Größenordnung, bei der es sich lohnt, über Optimierungsmaßnahmen nachzudenken. Die im jeweiligen Betrieb anfallenden Anteile der KSS-spezifischen Aufwendungen und Kosten sind stark vom Bearbeitungsspektrum, den eingesetzten KSS-Typen, dem Maschinenpark und letztendlich auch von den baulichen Randbedingungen abhängig. In den meisten Betrieben werden diese Kostenblöcke nur in Form von Gemeinkosten erfasst und sind daher selten verursacherbezogen verfügbar.

Um Ansatzpunkte zur Prozessoptimierung und Umweltentlastung zu identifizieren ist es erforderlich, die betriebliche Ist-Situation zu erfassen um einen Überblick über die Kostensituation sowie Schwachpunkte im Bereich Umwelt- und Arbeitsschutz zu bekommen. Die nachfolgende Aufstellung soll Ihnen dabei helfen, sich einen Überblick über den betrieblichen Aufwand, der mit dem KSS-Einsatz verbunden ist zu verschaffen.

Position	Zuzuordnende Kosten €

• Wie viele und welche KSS-Sorten werden eingesetzt? Liegen die zugehörigen Sicherheitsdatenblätter vor?
• Anzahl der Werkzeugmaschinen, die
  o einzeln versorgt werden
  o über Zentralanlagen versorgt werden
• KSS-Beschaffungs- und Entsorgungsmengen und -Kosten?
• Höhe und Kosten der Austragsverluste (Nachfüllmengen)
• Standzeiten der KSS-Bäder?
• Wie hoch ist/war der KSS-bedingte Anteil bei den Investitionskosten (KSS-Ver- und -Entsorgung)?
• Wie hoch ist der Aufwand zur KSS-Überwachung und Pflege?
  o Invest- und Materialkosten
  o Personalaufwand bzw. -kosten
• Anteilige Energiekosten (Pumpen, Filter, Absaugungen)?
• Reinigungsaufwand für Maschinen, Behälter, Böden?
• Aufwand (Invest + Personal) zur Entfettung von Werkstücken und ggf. zur Entölung von Spänen?
• Gibt es Hautprobleme, krankheitsbedingte Kosten?	

Wenn Sie diese Fragen beantworten und jeweils mit Aufwand und (überschlägigen) Kosten belegen können, dann verfügen Sie bereits über einen Überblick, was Sie der KSS-Einsatz wirklich kostet.

Das nachfolgende Beispiel einer Kostenaufstellung ist vereinfacht und zeigt, dass der Kostenfaktor KSS auch bei kleinen metallverarbeitenden Betrieben nicht zu vernachlässigen ist. Für eine eigene Abschätzung setzen Sie Ihren betrieblichen Aufwand sowie Ihre eigenen Kostensätze ein.

Position	Monatliche Kosten
KSS-bedingte Investitionskosten: KSS-Behälter, Pumpe, Bandfilter; ca. 5.000 €; Abschreibung auf 6 Jahre	70,- €
KSS-Kosten: 5 %ige Emulsion (0,30 €/L); 200 L- Behälter, 3 Monate Standzeit, 50 % Verlust durch Verschleppung	50,- €
Personaleinsatz: Arbeitsaufwand für Ansatz, Nachfüllen, KSS-Überwachung usw.; 2 h x 30 €/Monat	60,- €
Energiekosten: Betrieb von Versorgungspumpe, Filteranlage 1,5 kW, 8 h/Tag	16,- €
Betriebsaufwand: Maschinenstillstand durch Reinigung, KSS-Wechsel; 3 h x 50 €/Monat	150,- €
Entsorgungskosten: Austausch nach drei Monaten, Entsorgungskosten 150 €/m³	10,- €
Resultierende Gesamtkosten:	356,- €

KSS-bedingte monatliche Kosten einer einzeln versorgten Werkzeugmaschine (z. B. CNC-Zentrum) mit einem Badvolumen von 200 Litern (ABAG-itm, 2010)

Anhand der Kostenbetrachtung wird deutlich, dass die Entsorgungskosten nur einen untergeordneten Kostenfaktor darstellen. Generell gilt:

- Integrierter Umweltschutz vor additiven Maßnahmen: Vor Investitionen in eine eigene KSS-Aufarbeitungsanlage (**Emulsionsspaltanlage**) und vor langwieriger Suche nach einer möglichst billigen Entsorgung sollten die innerbetrieblichen Möglichkeiten der Abfallvermeidung ausgeschöpft werden.
- Die Kostenübersicht zeigt auch das Potenzial bei einem KSS-Verzicht auf: Prüfen Sie daher die Möglichkeiten der Trockenbearbeitung und Minimalmengen-Schmierung.

Kühlschmierstoffe im Gesamtprozess

Da spanabhebende Bearbeitungsverfahren nur selten allein stehende Fertigungsprozesse, sondern in der Regel in die Produktionskette eingebettet sind, haben auch die verwendeten Kühlschmierstoffe (KSS) Auswirkungen auf die Folgeprozesse. Ebenso können Anhaftungen an Halbzeugen und zu bearbeitenden Werkstücken (z. B. Korrosionsschutzmittel) aus vorangegangenen Produktionsprozessen erhebliche Auswirkungen auf den KSS und damit das Arbeitsergebnis und die Kosten (z. B. aus erhöhtem Abfallaufkommen) haben.

Grafik: Auswirkungen von Hilfsstoffen auf Folgeprozesse

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Bei der Auswahl der KSS sowie deren Einsatz sollte daher immer die ganze Prozesskette mit den jeweils eingesetzten Werk- und Hilfsstoffen betrachtet werden. Eine ganzheitliche Prozessbetrachtung ist Voraussetzung für eine abfallarme und umweltgerechte Produktion und vermeidet Zusatzkosten.

Insbesondere müssen Betriebs- und Hilfsstoffe, die in einer Prozessstufe in Kontakt kommen oder miteinander vermischt werden auf ihre Chemikalienverträglichkeit geprüft und abgestimmt werden. Andernfalls können Unverträglichkeiten z. B. bei KSS- oder Reinigungsbädern zu vorzeitiger Unbrauchbarkeit mit entsprechenden Qualitätsproblemen bei der Produktion oder durch vorzeitigen Austausch zu erhöhtem Abfallaufkommen führen.

Einige Beispiele aus der Praxis

KSS-Emulsionen auf Mineralölbasis weisen eine schlechte Verträglichkeit gegenüber Ölen auf nativer oder Ester-Basis auf. Die Standzeit des KSS-Bads nimmt drastisch ab. KSS, Hydrauliköle und Bettbahnöle müssen daher aufeinander abgestimmt sein.

- Korrosionsschutzmittel sind teilweise nitrithaltig. Bei Eintrag in eine KSS-Emulsion steigt daher der Nitrit-Gehalt der Emulsion sehr schnell an. Wegen Überschreitung des Grenzwerts (vgl. **TRGS 611**) und der Gefahr der Nitrosaminbildung muss das KSS-Bad vorzeitig ausgetauscht werden.

- Insbesondere wässrige Reinigungs- und Entfettungsbäder müssen auf den abzureinigenden KSS abgestimmt werden. Unterschiedliche Emulgatorsysteme können ebenso zu schnellen Wirkungsverlusten führen wie Öleinträge in ein emulgierendes Reinigungsbad.

Holen Sie zur Abstimmung der Hilfsstoffe alle Beteiligten mit ins Boot: Die Chemikalienlieferanten, den Maschinenhersteller, Ihren Einkauf, die beteiligten Produktionsabteilungen und ggf. auch Ihren Entsorger.

Auch Nebenprozesse wie z. B. die Abwasserbehandlung werden von den eingesetzten KSS maßgeblich (positiv oder negativ) beeinflusst.

Positivbeispiel: Zur **Emulsionsspaltung** mittels **Ultrafiltration** (aus Wirtschaftlichkeitsgründen nur bei großen Mengen empfehlenswert) hat sich die Vermischung und gemeinsame Behandlung von KSS- und Reinigungsemulsionen in der Regel bewährt, da die Ultrafiltration von Emulsionsmischungen besser durchzuführen ist.

Negativbeispiel: Schwermetallhaltige oder auch chlorhaltige KSS-**Additive** zur Eigenschaftsverbesserung haben bei der Emulsionsspaltung/Abwasserbehandlung in der Vergangenheit des öfteren zu erheblichen Abwasserproblemen durch Überschreitung der Grenzwerte geführt.

Die Beispiele zeigen, dass für einen effektiven KSS-Einsatz nicht nur der jeweilige Bearbeitungsprozess, sondern die Betrachtung der gesamten Prozesslinie wichtig ist. Eine gute Abstimmung verbessert die betriebliche Umweltsituation (geringere Abfall- und Abwassermengen), steigert die Produktionssicherheit und reduziert die Kosten.

Betriebliche Umwelteinflüsse durch KSS-Verluste

Durch Verdampfungs-, Spritz- und Austragsverluste wird nahezu der gesamte spanende Fertigungsbereich in irgendeiner Form vom KSS-Einsatz tangiert. Dies betrifft insbesondere den Einsatz von KSS-Ölen. Die Austragsverluste über Späne und Werkstücke sind durch die höhere Ölviskosität höher. Entstehende Ölnebel und -Dämpfe schlagen sich an Maschinen, am Boden und an Gebäudeeinrichtungen nieder.

Grafik: Schneidölkreislauf und –Verlustpfade am Beispiel der Messingbearbeitung

Quelle: FhG-ISI, Karlsruhe, 2001

Durch folgende Maßnahmen lassen sich der erforderliche Reinigungsaufwand und die damit verbundenen Abfälle (Ölbindemittel, Putzlappen, Reinigungsmittel) sowie die Verschleppungsverluste zumindest reduzieren, wenn auch nicht gänzlich vermeiden:

- Für die bearbeiteten Bauteile Abtropfzonen einrichten, schöpfende Teile drehen
- Späne ebenfalls abtropfen lassen (Lochblech mit Absaug- bzw. Ablassmöglichkeit im Spänekontainer)
- Bei hohem Ölaustrag kann sich eine Spänezentrifuge rentieren, auch unempfindliche Teile lassen sich zentrifugieren. Das KSS-Öl kann wieder in den Maschinenkreislauf zurückgeführt werden.
- Bei der KSS-Auswahl auch auf nebelarme KSS-Qualitäten achten
- Eine gute Kapselung des Bearbeitungsraums (für neue Werkzeugmaschinen Pflicht) mit geeigneter Absaugung reduziert die Verdampfungsverluste und damit den Reinigungsaufwand

Bei **wassergemischten KSS** sind die Austragsverluste in der Regel geringer, die Verdampfungs-verluste betreffen vorwiegend den Wasseranteil. Nur durch Trockenbearbeitung bzw. Minimalmengen-Schmierung lassen sich die KSS-Verluste mit dem aufgezeigten Umweltbeeinträchtigungen und Kosten gänzlich vermeiden. Insbesondere bei Neuinvestitionen sollten daher die Realisierungs-möglichkeiten der Trockenbearbeitung geprüft werden.

Trockenbearbeitung

Eine Technologie zur Steigerung der Ökoeffizienz bei der Metallbearbeitung

Unter dem Oberbegriff Trockenbearbeitung versteht man in der Praxis zwei Verfahrensvarianten. Zum einen den vollständigen Verzicht auf jegliche Schmierstoffe als Hilfsmittel und zum anderen die **Minimalmengen**-Schmierung (MMS). Diese Technologien haben in den letzten 20 Jahren einen Entwicklungsschub erfahren, nicht zuletzt Dank erheblicher Förderung durch die öffentliche Hand. Sie durchlaufen derzeit den Weg zu einer breiten Umsetzung in die betriebliche Praxis.

Grafik: "Vorher, nachher"; Bearbeitung von Aluminium-Bauteilen mit KSS und mit MMS

Quelle: DASA, Augsburg

Durch den Verzicht auf Kühlschmierstoffe (KSS) lassen sich viele Vorteile erzielen, sowohl in Bezug auf Effizienzsteigerung und Kostenersparnis als auch in Bezug auf eine nachhaltige Verbesserung der betrieblichen Umweltsituation und der Arbeitsplatzqualität.

Umweltaspekte der Trockenbearbeitung

Gegenüber der Nassbearbeitung weisen die Trockenbearbeitung/MMS erhebliche Umweltvorteile auf:

Abfälle: Bei der Trockenbearbeitung fallen keine KSS-bedingten Abfälle mehr an wie z. B.: verbrauchte KSS, ölhaltige Späne und Schleifschlämme, Filtervliese, Ölbindemittel, Putzlappen usw. Hinzu kommt noch die Abfallreduzierung bei Folgeprozessen wie Reinigungs- und Entfettungsbädern, die unter Umständen auch ganz entfallen können. Emissionen: Verschiedene Messungen, insbesondere seitens der Berufsgenossenschaften, haben bestätigt, dass die Arbeitsplatzbelastung bei der Trockenbearbeitung generell deutlich geringer ist als bei Nassbearbeitung. Trotzdem sollte berücksichtigt werden, dass auf dem Werkstück befindliche Restanhaftungen, z. B. Korrosionsschutzmittel sowie Schmiermittelanteile aus dem MMS-Einsatz, durch die hohen Temperaturen bei der Bearbeitung verdampfen. Saubere Werkstücke und ein möglichst geringer MMS-Einsatz wirken sich hier nochmals positiv aus.

Stäube: Je nach Bearbeitungsverfahren und Werkstoff entstehen neben frei fallenden Spänen auch Feinspäne (Metallstäube), die bei der Trockenbearbeitung nicht vom KSS gebunden und ausgetragen werden. Bei stärkerem Anfall sollten diese über eine Maschinenraumabsaugung abgezogen und über Filter separiert werden. Bei der Aluminiumbearbeitung mit großem Feinspäneanfall ist zudem eine mögliche exotherme Reaktion zu berücksichtigen (Explosionsschutz).

Lärm: Trocken arbeitende Maschinen sind, wenn bei der Maschinenkonstruktion keine schwingungsdämpfenden Maßnahmen ergriffen wurden, generell etwas lauter als bei der Nassbearbeitung. Dies resultiert aus der fehlenden dämpfenden Wirkung der KSS. Mit konstruktiven geräuschdämpfenden Maßnahmen lassen sich gleichwertige Ergebnisse erzielen.

Wie bei der Nassbearbeitung wird auch bei der Trockenbearbeitung eine Maschinenraumabsaugung zur Vermeidung von Emissionen und Stäuben am Arbeitsplatz empfohlen. Die abgesaugte Luft sollte über geeignete Filter ins Freie abgeleitet werden.

Die Vorteile, die aus einer Realisierung der Trockenbearbeitung resultieren, begründen sich nicht nur auf den eigentlichen Bearbeitungsprozess, sondern auch auf die gesamte Fertigungskette. Ein wesentliches Element der Trockenbearbeitung ist die schnelle Spanabfuhr von der Bearbeitungsstelle um die Wärmebelastung an Werkstück und Werkzeug zu reduzieren. Verbunden mit einer angepassten Werkzeugtechnologie lassen sich somit wesentlich höhere Bearbeitungsgeschwindigkeiten erzielen, mit entsprechender Steigerung der Effizienz.

Um die Trockenbearbeitung für einen Bearbeitungsprozess realisieren zu können, müssen bestimmte Voraussetzungen bei den am Bearbeitungsprozess beteiligten Komponenten (Werkzeug, Maschine, Spanabfuhr) gegeben sein.

Tabelle: Vorteile und Voraussetzungen zur Trockenbearbeitung

Vorteile	Voraussetzungen
Vermeidung KSS-bedingter Probleme und Kosten • Kein oder minimaler KSS-Bedarf • Reduzierte Investitionen (Behälter, Pumpen, Rohre, Pflegeeinrichtungen) • Keine KSS-bedingten Abfälle mehr • Preiswertere Späneentsorgung • Keine KSS-Überwachung und -Wartung • Saubere Umgebung und Teile • Bessere Sicht auf den Bearbeitungsvorgang • Verbesserter Arbeitsschutz und Arbeitshygiene	Trockenbearbeitungsfähiger Prozess • Span- und Wärmeabfuhr muss gesichert sein • Kühlfunktion darf nicht im Vordergrund stehen Bei MMS nur geeignete Schmierstoffe verwenden • Synthetische und native Produkte, keine Mineralöle • Absaugung wird empfohlen
Steigerung der Bearbeitungseffizienz • Schnellere Bearbeitung möglich • Keine Thermoschockbelastung der Werkzeuge (Standzeiterhöhung) • Geringerer Platzbedarf • Weniger Nebentätigkeiten	Trockenbearbeitungsfähige Werkzeugmaschinen erforderlich • Keine Komponenten mit KSS-bedingter Schmierung • Gesicherte Spanabfuhr • Stabiler Wärmehaushalt
Optimierung der Prozessabläufe • Bei sauberen Teilen kann ggf. auf	

Reinigungsprozesse verzichtet werden • Weniger Nebenprozesse	

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Auch bei kleineren Betrieben und im Werkstattbereich kann die Trockenbearbeitung/MMS sehr vorteilhaft eingesetzt werden, z. B. beim Sägen von Profilen, Stangen und Rohren. An Stangenmaterialien entlanglaufende KSS können sehr viel Aufwand bedeuten. Zudem ist die Reinigung/Entfettung von Rohr- und Profilmaterialien oft sehr aufwendig. Weiter reichende Vorteile lassen sich bei der Serienproduktion erzielen, insbesondere wenn durch Trockenbearbeitung/MMS eine Vereinfachung der Prozessabläufe möglich wird. Durch den KSS-Verzicht können in vielen Fällen nachfolgende Prozessschritte - im einfachsten Fall nur ein Reinigungsschritt - maßgeblich verbessert werden, oder wie im nachfolgenden Schema dargestellt, komplett entfallen. Die in solchen Fällen realisierbaren Kosteneinsparungen übertreffen den Aufwand zur Erprobung und Einführung der Trockenbearbeitung bei Weitem.

Grafik: Vereinfachung der Verfahrensabläufe durch Trockenbearbeitung

Quelle: Leipold, Wolfach und ABAG-itm, Pforzheim

Trockenbearbeitung - Stand der Technik

Kühlschmierstoffe (KSS) müssen vielfältige technologische Anforderungen sowie Anforderungen des Arbeits- und Umweltschutzes erfüllen. Deshalb sind KSS inzwischen hoch entwickelte Systeme. Ein alternatives, auf KSS verzichtendes Verfahrenskonzept muss die wesentlichen Aufgabenfelder wie Schmieren, Wärme- und Späneabtransport gleichermaßen abdecken.

Quelle: wbk, Karlsruhe

Für die Realisierung der **Trockenbearbeitung** sowie der Minimalmengen-Schmierung (MMS) bei der spanenden Metallbearbeitung müssen daher einige Randbedingungen erfüllt sein, um die Bearbeitung auch prozesssicher durchführen zu können. Grundsätzliche Anforderungen sind:

- eine reduzierte Zerspan- und Umformenergie und damit die Verminderung der Wärmeentstehung,
- die Wärmeabfuhr muss gewährleistet sein (ein hoher Anteil erfolgt über die Späne)
- eine gesicherte Spanabfuhr (von der Bearbeitungsstelle und aus der Maschine)
- die Werkzeuge müssen für eine trockene Bearbeitung geeignet sein (Geometrie, Werkstoff, Beschichtung) und
- die Werkzeugmaschine muss an die Anforderungen der Trockenbearbeitung angepasst sein.

Für die Trockenbearbeitung eignen sich daher insbesondere

- Bearbeitungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide (Fräsen, Bohren, Sägen usw.),
- Bearbeitungsverfahren bei denen die Kühlfunktion nicht im Vordergrund steht. Prozesse wie Schleifen, Honen usw. sind derzeit nur in Einzelfällen trocken realisierbar.

In einigen Bereichen wie der Gussbearbeitung hat die Trockenbearbeitung bereits eine lange Tradition. Die Vorteile liegen auf der Hand und die Graphitanteile im Grauguss gewährleisten eine ausreichende Gleitschicht zwischen Werkzeug und Werkstück und damit die Grundlage für moderate Wärmeentwicklung und gute Werkzeugstandzeiten.

Insbesondere neue Entwicklungen auf dem Sektor der Schneidwerkstoffe und der Beschichtungssysteme für Werkzeuge haben den Anwendungsbereich für die **Trockenbearbeitung** in den letzten Jahren erheblich erweitert.

Hinzu kamen verbesserte Techniken bei den **Minimalmengen-Schmierung (MMS)**-Schmiersystemen (MMS) sowie durch Forschungsprojekte ein verbessertes Verständnis der Vorgänge an der Bearbeitungsstelle. Inzwischen kann auf ein breites Ergebnisspektrum aus vielen F+E-Projekten sowie aus Pilotprojekten zurückgegriffen werden. Die Anwendungsbereiche, in denen die Trockenbearbeitung und MMS inzwischen bereits erfolgreich umgesetzt wurden decken ein breites Feld ab. Sie sind in der nachfolgenden Übersicht tabellarisch zusammengestellt.

Tabelle: Übersicht über verfügbare Erfahrungen bei der Realisierung der Trockenbearbeitung/MMS

Werkstoff / Verfahren	Aluminium		Messing	Grauguss	Stähle		
	Gussle-gierung	Knetle-gierung	versch. Leg.	GG20 - GGG70	Hochleg. Stähle, Wälzlager-stahl	Automaten-Vergütungs-stahl	Nichtros-tende, VA-Qualitäten
Sägen Beschichtung	MMS TiN	MMS TiN	Trocken	Trocken	MMS	MMS	(MMS)
Fräsen Beschichtung	MMS TiN+ MoS_2	MMS ohne	Trocken/ MMS	Trocken TiN	Trocken/ MMS (Ti,Al)N, MoS_2	Trocken/ MMS TiN	(MMS)
Wälzfräsen Beschichtung	X	X	X	Trocken TiN	Trocken/ MMS (Ti,Al)N, MoS_2	Trocken/ MMS TiN	X
Bohren Beschichtung	MMS (Ti,Al)N	MMS ohne	Trocken/ MMS	Trocken TiN	MMS (Ti,Al)N, MoS_2	Trocken TiN	(MMS) PVD (Ti,Al)N
Tieflochbohren Beschichtung	MMS (Ti,Al)N, MoS_2	X	MMS	MMS TiN	X	MMS (TiAl)N+Movic	X
Gewindeschn. Beschichtung	MMS TiN	MMS	MMS	MMS Ti(C,N)	MMS TiN	MMS TiN	X
Gewindeformen Beschichtung	MMS CrN, WC/C	MMS		MMS	MMS	MMS Ti(C,N	X
Drehen Beschichtung	MMS	MMS TiN	Trocken/ MMS	Trocken TiN	MMS TiN	MMS TiN	(MMS)
Räumen Beschichtung	X	MMS	MMS	Trocken/ MMS TiN	Trocken/ MMS Ti(C,N)-Multilayer	Trocken/ MMS Ti(C,N)-Multilayer	X
Reiben Beschichtung	MMS (Ti,Al)N, PKD	MMS ohne	X	MMS PKD-Leiste	(MMS)	MMS PKD-Leiste	X

X = Für diese Prozesse liegen noch keine gesicherten Erfahrungswerte vor

Quelle: wbk, Karlsruhe, Technologienetz Trockenbearbeitung, ABAG-itm, Pforzheim 2010

Die Erfahrungen und Ergebnisse lassen sich in der Regel ohne prozessspezifische Kenntnisse nicht auf andere Bearbeitungsaufgaben übertragen. Zur Einführung der Trockenbearbeitung in die eigene Produktion sind daher meistens prozessspezifische Versuche und der Aufbau betriebseigenen Know-hows erforderlich.

Die Entwicklungsaktivitäten haben sich auf Aluminium, Stähle und Grauguss konzentriert. Parallel wurden zur Trockenbearbeitung geeignete Werkzeuge und trockenbearbeitungsgerechte Werkzeugmaschinen weiterentwickelt, ebenso wie die Minimalmengen-Schmierung, mit deren Unterstützung bei vielen Anwendungen eine hohe Wirtschaftlichkeit erreicht werden kann.

Anforderungen an trockenbearbeitungsgerechte Werkzeugmaschinen

Die meisten Werkzeugmaschinen (insbesondere bei älterem Werkzeugmaschinenpark) sind noch auf Nassbearbeitung ausgelegt. Dies betrifft das Gesamtkonzept, Lager und Führungen, das Fortspülen der Späne durch den Kühlschmierstoff (KSS) (von Bearbeitungsstelle, Spanneinrichtungen, Führungen, Bearbeitungsraum) sowie die Kühlung und die Schmierung nicht nur der Bearbeitungsstelle, sondern aller bewegter Komponenten.

Die Werkzeugmaschine nimmt daher eine Schlüsselstellung für den Erfolg der Trockenbearbeitung ein. Bei einer Maschine mit der trocken gearbeitet werden soll, müssen insbesondere folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Die Spanabfuhr muss schnell und prozesssicher gewährleistet sein (schräge Seitenwände, keine waagrechten Flächen wegen Gefahr der Spänenesterbildung, freie Spanneinrichtungen), damit die Späne die Wärme nicht an die Werkzeugmaschine abgeben können.
- Die Maschine muss in Folge des fehlenden Korrosionsschutzes des KSS vor verfrühtem Verschleiß bewahrt werden, d. h. Lager, Abstreifer, Führungen und Späneförderer im Bearbeitungsraum müssen auch trocken funktionsfähig bleiben.
- Der Wärmehaushalt der Maschine muss auch ohne KSS stabil bleiben (ggf. Temperaturkompensation)
- Entstehende Metallstäube, die mangels KSS nicht ausgewaschen werden, sollten abgesaugt werden. Insbesondere bei der Al-Zerspanung ist dabei die Brand- und Explosionsgefahr zu berücksichtigen.
- Die Vorteile der Trockenbearbeitung kommen oft erst bei höheren Bearbeitungsgeschwindigkeiten und Vorschüben voll zur Geltung. Es muss daher sicher gestellt sein, dass Antrieb und Spindel die erforderlichen Leistungswerte bringen.

Der Spanabtransport ist maschinentechnisch das eigentliche Kernproblem der Trockenbearbeitung und hat daher die größten Auswirkungen auf die Gestaltung der Maschine und des Maschineninnenraums.

Mittlerweile werden von vielen Werkzeugmaschinenherstellern Konzepte angeboten, die diese Forderungen erfüllen. Bei Neuinvestitionen sollten die Anforderungen der Trockenbearbeitung in jedem Fall geprüft und mit ins Pflichtenheft aufgenommen werden.

Bild: Trockenbearbeitungsgerechte Späneführung bei der Messingbearbeitung

Quelle: Umstellung eines Fertigungsbereichs auf Trockenbearbeitung, Projektbericht ABAG-itm, Pforzheim

Bei bestehendem Maschinenpark ist die sichere Spanabfuhr oft ein wesentliches Handicap. Bei Einzelfertigung und im Werkstattbereich lässt sich dies oft durch Abblasen mit Pressluft oder durch Abfegen mittels Handbesen sicherstellen. Der dafür erforderliche Mehraufwand wird in der Regel durch die Einsparungen aus dem wegfallenden KSS-Handling überkompensiert.

Bei Unsicherheiten über die Möglichkeiten einer trockenen Betriebsweise Ihrer vorhandenen Maschinen nehmen Sie Kontakt mit der Entwicklungsabteilung des Maschinenherstellers auf.

Für Trockenbearbeitung/MMS geeignete Werkzeuge

Ein wichtiger Aspekt bei der Umstellung auf die **Trockenbearbeitung** liegt bei der Anpassung der Werkzeuge. Trockenbearbeitung und Minimalmengen-Schmierung MMS basieren einerseits auf einer reduzierten Wärmeentstehung und andererseits auf einer schnellen Wärmeabfuhr über die Späne. Hierbei spielen die Geometrie und der Schneidstoff der Werkzeuge eine Schlüsselrolle.

Da bei der Trockenbearbeitung die Werkzeugschneiden einer erhöhten thermischen Belastung ausgesetzt sind, ist zunächst zu prüfen, inwieweit das konventionelle (Nassbearbeitungs-)Werkzeug den höheren Anforderungen genügt. Für eine effiziente Bearbeitung müssen in der Praxis häufig angepasste oder neue Werkzeuge bzw. Schneidplatten eingesetzt werden.

Dabei muss in der Regel die Werkzeuggeometrie (z. B. Frei- und Spanwinkel, Spanbrechernuten, Neigungswinkel) optimiert werden. Geänderte tribologische Zustände an der Spanfläche können beim trockenen Einsatz von Standard-Substraten zu signifikanten Leistungsverlusten führen. Dabei bleibt offen, ob zur Trockenbearbeitung ein vollkommen neuer Werkstoff eingesetzt werden muss (z.B. Wechsel von HSS auf Hartmetall) oder ob eine Verbesserung des konventionellen Substrats ausreicht.

Grafik: Fräsen von Aluminiumwerkstoffen mit optimierten Werkzeugen

Quelle: Gießler, J. 1997

Insbesondere beim Bohren spielt eine an die Bedürfnisse der Trockenbearbeitung angepasste Werkzeuggeometrie eine entscheidende Rolle. Größere Spannuten mit ggf. polierter Oberfläche sowie ein angepasster Drallwinkel unterstützen den Spantransport aus der Bohrung.

Bei Bearbeitungsprozessen mit unterbrochenem Schnitt, insbesondere beim Fräsen, werden bei Trockenbearbeitung durch Wegfall der Thermoschockbelastung durch den Kühlschmierstoff erhebliche Standzeitverlängerungen der Werkzeuge erzielt. Fräsprozesse eignen sich daher sehr gut für den Einsatz der Trockenbearbeitung/MMS.

Beispiel: Fräsen von Al-Knetlegierungen mit MMS-Unterstützung (zwei Düsen à 5 ml/h) mit Vollhartmetallfräsern; Ergebnis: Doppelte Bearbeitungsgeschwindigkeit bei gleichzeitiger Verlängerung der Werkzeugstandzeit (keine Thermoschockbelastung der Fräser mehr).

Neben der Werkzeuggeometrie und einem geeigneten Substrat kommt der Auswahl einer geeigneten Beschichtung ebenfalls eine zentrale Rolle zu, da durch verbesserte chemische Schichteigenschaften und optimierte Werkzeugvorbehandlungen im allgemeinen große Leistungsreserven erschlossen werden können.

Die Beschichtung hat die Aufgabe als Trennmittel zwischen Werkzeug und Span zu wirken. Dieses Trennmittel kann als harte oder als weiche Schicht ausgeführt sein. Harte Schichten wie z. B. TiN oder TiAlN wirken reibungsmindernd und wärmedämmend. Dadurch wird verhindert, dass durch die höheren Temperaturen bei der Trockenbearbeitung chemische Verschleißprozesse (Auskolkung) begünstigt werden. Weiche Schichten haben die Funktion besonders geringe Reibwerte zwischen Werkzeug und Span zu realisieren. Die weiche Schicht wird durch den Einsatz des Werkzeugs verbraucht und wirkt gewissermaßen als fester Schmierstoff. Moderne Systeme bestehen aus mehreren verschiedenen Schichten, wobei meist TiN als Grundlage verwendet wird. Als Kombination mit der TiN-Grundschicht wird häufig eine weitere harte Schicht verwendet (z. B. TiCN) oder als Deckschicht eine weiche MoS2-Beschichtung, sodass nach Abnutzung der Decklage für das Werkzeug weiterhin ein gewisser Verschleißschutz besteht.

Geeignete Werkzeuge sind auf diese Anforderungen hin optimiert, sowohl bezüglich der Schneidstoffe und Schichten als auch bezüglich der Werkzeuggeometrie. Mit hochwertigen Werkzeugen (z. B. feinkörnige HM-Sorten, Cermets, versch. Beschichtungen) konnten im Zusammenhang mit optimierten Bearbeitungsparametern (höhere Schnittgeschwindigkeiten oder höhere Vorschübe) teilweise erheblich verkürzte Bearbeitungszeiten bei gleich bleibenden oder höheren Standzeiten realisiert werden.

Viele Werkzeughersteller verfügen inzwischen über ein sehr fundiertes Know-how. Nehmen Sie daher Kontakt zu Ihrem Werkzeughersteller auf oder nutzen Sie die Erfahrungen von Technologienetzwerken wie z. B. dem Technologienetz Trockenbearbeitung oder der CNC-Arena.

Leitfaden zur Vorgehensweise

Sechs Schritte zur betrieblichen Einführung der Trockenbearbeitung: Ein Leitfaden zur Vorgehensweise

Jeder Betrieb, der Interesse an der Einführung der Trockenbearbeitung zeigt, stellt sich die Frage, wie er die Umsetzung in der eigenen Produktion am effektivsten bewerkstelligen kann. Wo findet man die erforderlichen Informationen und gegebenenfalls Unterstützung? Wie kann man herausfinden welche Maschinen und Prozesse für eine Umstellung auf Trockenbearbeitung geeignet sind? Und nicht zuletzt: Welche betrieblichen Vorteile lassen sich mit der Trockenbearbeitung realisieren?

Die nachfolgend beschriebene Vorgehensweise ist eine exemplarische Anleitung zur Erfassung der Potenziale und zur betrieblichen Einführung der Trockenbearbeitung:

1. Schritt: Verschaffen Sie sich einen Überblick über Ihre derzeitige Situation (Ist-Analyse)

Strukturieren Sie Ihren Betrieb nach Bereichen, in denen metallverarbeitende Fertigungsprozesse vorhanden sind (z. B. Abteilungen, Produktionsbereiche). Wird generell mit KSS gearbeitet oder wird bereits bei einzelnen Prozessen trocken gearbeitet?

Stellen Sie für die einzelnen Bereiche die eingesetzten KSS und den mit dem KSS-Einsatz verbundenen Aufwand zusammen. Dabei kommt es weniger auf Details an, Sie sollten sich vorrangig einen Überblick über alle mit dem KSS-Einsatz verbundenen Aspekte und Aufwendungen (Details siehe KSS-bedingter Aufwand) verschaffen. Gerade die Kostenerfassung gestaltet sich in der Praxis meist schwierig. Versuchen Sie gegebenenfalls die einzelnen Positionen abzuschätzen und beziehen Sie alle betroffenen Abteilungen, Personen und ggf. externe Dienstleister mit ein (Einkauf, Produktionsplanung, Fertigung, Instandhaltung, Entsorger usw.).

2. Schritt: Stellen Sie die in Ihrem Betrieb möglichen Vorteile durch Umstellung auf Trockenbearbeitung zusammen

Welche der im Schritt 1 zusammengestellten Positionen könnten bei Realisierung der Trockenbearbeitung ganz oder teilweise wegfallen? Versuchen Sie dabei auch weiche Aspekte (z. B. die Verbesserung der Arbeitsplatzqualität) zu bewerten.

Die so zusammengestellten Vorteile und möglichen Kosteneinsparungen stellen das (theoretische) Optimierungspotenzial bei der Umstellung auf Trockenbearbeitung dar. Es sollte ein für Sie interessantes Volumen aufweisen, um einer Einführung der Trockenbearbeitung entsprechendes Gewicht zu verleihen.

3. Schritt: Informieren Sie sich über Funktionsweise und Anwendungsbereiche der Trockenbearbeitung

Eine erste Übersicht über die Funktionsweise der Trockenbearbeitung/MMS sowie der Prozesse in denen bereits Einsatzerfahrungen vorliegen bietet Ihnen dieses Internet-Forum. Je nach Bedarf und Informationsstand können Sie sich (und auch die betroffenen Mitarbeiter) mit verfügbarer Literatur oder über Beratungsstellen weitergehende Informationen beschaffen.

4. Schritt: Prüfen Sie die Einsatzmöglichkeiten der Trockenbearbeitung in Ihrem Betrieb

Nachdem Grundinformationen vorhanden und die Vorteile klar sind, wollen Sie jetzt die Trockenbearbeitung in die eigene Produktion umsetzen.

Wo aber am sinnvollsten beginnen? Erstellen Sie sich hierzu eine Tabelle mit den Bearbeitungsverfahren, die aus Ihrer jetzigen Kenntnis am einfachsten auf Trockenbearbeitung umzustellen sind und prüfen Sie für diese Verfahren folgende Aspekte:

- Zu Bearbeitungsprozess und Werkstoff sollten bereits möglichst breite Anwendungserfahrungen (siehe Stand der Technik) verfügbar sein.
- Die Werkzeugmaschine (siehe Werkzeugmaschinen) sollte mit geringem Aufwand auf Trockenbearbeitung umstellbar oder bereits trockenbearbeitungsgerecht sein.
- Die Anwendung sollte kein zeitkritischer Prozess in der laufenden Fertigung sein, um ausreichend Freiraum für Versuche zu haben.
- Bearbeitungsverfahren und Werkstoff sollten möglichst typisch für Ihre Fertigung sein um die bei der Realisierung gewonnenen Erfahrungen gut auf weitere Prozesse übertragen zu können.
- Bezüglich Maschine, Werkzeuge (siehe Werkzeuge) und ggf. MMS-Anwendung sollten Lieferanten/Partner verfügbar sein, die Sie mit Erfahrungen und Rat unterstützen können.

Bewerten Sie die betrachteten Prozesse entsprechend ihrer Umsetzbarkeit.

5. Schritt: Stufenweise Umstellung einzelner Prozesse auf Trockenbearbeitung

Beginnen Sie mit dem am einfachsten zu realisierenden Prozess aus Schritt 4 und beziehen Sie die Erfahrungen von Systemlieferanten mit in die Erprobungsphase ein. Falls innerbetriebliche Vorbehalte existieren, bauen Sie diese durch offene Informationen und Gespräche ab. Sichern Sie sich erforderlichenfalls auch die Zustimmung der Geschäftsführung. Falls während der Erprobungsphase Probleme auftreten holen Sie sich externen Rat bei Ihren Partnern oder bei neutralen Beratungsstellen.

6. Schritt: Bauen Sie sich betriebseigenes Know-how auf

Die Trockenbearbeitung ist keine Allround-Technologie und verlangt daher den Aufbau eines eigenen prozessspezifischen Know-hows. Neben der grundsätzlichen Realisierbarkeit stecken in der Prozessoptimierung meist erhebliche Potenziale zur Leistungssteigerung und Vereinfachung der Prozessabläufe. Betrauen Sie besonders interessierte Mitarbeiter mit der Prozessoptimierung und geben Sie ihnen genügend Freiraum zur Weiterentwicklung der Trockenbearbeitung in andere Prozesse und Produktionsbereiche.

Die Umstellung auf Trockenbearbeitung bedarf in jedem Fall eines längeren Zeithorizonts. Sie wird in keinem Betrieb von heute auf morgen erfolgen können. In vielen Fällen wird die Trockenbearbeitung auch erst im Zusammenhang mit Neuinvestitionen von Werkzeugmaschinen möglich sein, weil die bestehenden Maschinen nicht auf die Trockenbearbeitung umrüstbar sind. In jedem Fall sollte betriebseigenes und prozessspezifisches Know-how im Vorfeld aufgebaut werden, als Investition in eine nachhaltige Optimierung der Fertigung und damit als ein Baustein zur betrieblichen Zukunftssicherung.

Praxisnah und sehr informativ ist der eNewsletter Umwelttechnik Deutschland 2/2006 Kühlschmierstoffe (s. Literatur im rechten Infoblock). Dort werden Grundlagen und Praxisbeispiele zur Trockenbearbeitung und Minimalmengen-Schmierung erläutert. Weiterhin finden Sie Richtlinien zu Kühlschmierstoffen, Kontaktadressen, Links sowie vertiefende Literatur.

Minimalmengen-Schmierung (MMS)

Unter Minimalmengen-Schmierung (MMS) versteht man das Aufbringen sehr geringer Schmierstoffmengen direkt auf den Wirkungsbereich Werkzeug/Werkstück. Ziel ist die Reduzierung der Entstehung von Reibwärme bei der Zerspanung. Der Kühleffekt durch das Medium spielt dabei nur eine untergeordnete Rolle. Mit minimalen Schmierstoff-Mengen (5 bis max. 50ml/h) kann für die **Trockenbearbeitung** ein wesentlich breiterer Anwendungsbereich mit erhöhter Prozesssicherheit und deutlich verlängerten Werkzeugstandzeiten erschlossen werden. Die MMS ergänzt daher die Trockenbearbeitung um eine kostengünstige, betriebssichere und universell einsetzbare Technologie.

Der Schmierstoffauftrag erfolgt meist mittels Sprühtechnik entweder von außen auf die Bearbeitungsstelle (äußere Zuführung) oder über die Werkzeugspindel durch das Werkzeug (z. B. bei Bohrern, Fräsern) über eingebrachte Kanäle zur Werkzeugschneide (innere Zuführung). Für beide Anwendungsbereiche stehen geeignete Auftragssysteme mehrerer Hersteller zur Verfügung.

Grafik: Gegenüberstellung äußere und innere MMS-Zuführung

Quelle: Umstellung eines Fertigungsbereichs auf Trockenbearbeitung, Projektbericht ABAG-itm, Pforzheim

Im Gegensatz zur konventionellen Nassbearbeitung ist die MMS eine Verlustschmierung. Um die geringen Mengen im Bereich von 5 bis max. 50 ml/h exakt und bedarfsgerecht dosiert auf die Wirkstelle aufzubringen, werden verschiedene Ausführungen der Sprühtechnik eingesetzt. Mit Luft als Träger- und Führungsmedium (zur Reduzierung der **Overspray**-Verluste) werden feinste Schmierstofftröpfchen auf die Bearbeitungsstelle aufgebracht. Der Auftragstechnik kommt dabei eine wesentliche Bedeutung zu.

Grafik: Prinzipskizze MMS-System

Quelle: IfW, Universität Stuttgart

MMS-Systeme sind in der Regel relativ kompakt und lassen sich auch bei bestehenden Werkzeugmaschinen gut nachrüsten. Bei äußerer Zuführung sollte die Düse dabei im Abstand von 3 bis 15 cm auf den Eingriffsbereich des Werkzeugs gerichtet sein. Bei automatischen Werkzeugwechselsystemen ist auf die Kollisionsgefahr beim Werkzeugwechsel zu achten. Gerade wegen des überschaubaren Investitionsaufwands (Gerätekosten: 1.000 bis 6.000 Euro) und der einfachen Nachrüstmöglichkeit sind MMS-Anlagen auch gut für die Ausrüstung einzeln stehender Maschinen sowie im Werkstattbereich geeignet.

Ein beispielhafter Kostenvergleich zeigt, dass die entscheidenden Kostenvorteile keineswegs aus der entfallenden Beschaffung und der Entsorgung der Kühlschmierstoffe (KSS) resultieren, sondern vielmehr aus den indirekten Kosten, wie z. B. Personal- und Anlagenkosten zur Pflege, Überwachung und Maschinenreinigung. Je nach betrieblicher Situation können die mit dem MMS-Einsatz erzielbaren Vorteile sehr unterschiedlich ausfallen. Hier empfiehlt es sich, sich im Vorfeld einen Kostenüberblick über die eigenen mit dem KSS-Einsatz verbundenen Aufwendungen und Umweltrisiken zu verschaffen.

Grafik: Vereinfachter Kostenvergleich Nassbearbeitung/MMS-Einsatz bei einer einzelstehenden Maschine mit 200 l KSS-Volumen

	Kosten pro Monat	
	Nassbearbeitung	Trockenbearbeitung bzw. MMS-System
Investitionen Abschreibung (6 Jahre)	Alle Komponenten i. a. vorhanden	zusätzlich ca. 3.000 € **41,00 €/Monat**
Kühlschmierstoff	Emulsion (5 %) 0,30 € /l (ca. 60 € /Badfüllung)	Für MMS geeignete KSS (synthethisch oder nativ) ca. 8 € /l
Verbrauch (Einschichtbetrieb) - durch Verschleppung (Späne, Werkstücke...)	Umlaufsystem ca. 50 %/Monat = **30,00 €/Monat**	Verbrauch ca. 20ml/h = 3,2 l/Mon. Verlustschmierung **25,60 €/Monat**
- durch Verwurf (Emulsion: 3 Monate Standzeit)	33 %/Monat = **20,00 €/Monat**	entfällt
Pressluft	entfällt	Verbrauch ca. 50 l/Min. 230 m^3/Mon. x 1,5 C/m^3 **3,40 €/Monat**
Personal Arbeitsaufwand für Ansetzen, Nachfüllen, KSS-Überwachung... (Stundensatz 30 €)	ca. 2 Std/Monat = **60 €/Monat**	entfällt
Betriebsaufwand Maschinenstillstand durch Reinigung, KSS-Wechsel... (Maschinenstundensatz 50 € /h)	ca. 3 Std. = **150 €/Monat**	ca. 0,5 Std. = **25,00 €/Monat**
Entsorgung: Austausch nach 3 Monaten Kosten: 250 € /m^3	200 l Altemulsion x 0,3 60 l x 0,25 € /l = **15,00 €/Monat**	entfällt
resultierende Gesamtkosten	**275,00 €/Monat**	**95,00 €/Monat**

Wirtschaftlicher Vorteil je Maschine: 180,00 €/Monat bei MMS und 250,00 €/Monat bei vollständiger Trockenbearbeitung

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Neben der Auswahl des für den jeweiligen Anwendungsfall geeigneten MMS-Auftragssystems kommt der Wahl des geeigneten Schmierstoffs eine ebenso große Bedeutung zu. Der Schmierstoff muss sowohl an das Auftragsgerät (insbesondere bezüglich der Viskosität) als auch an die Anforderungen des Bearbeitungsprozesses (Schmierfähigkeit) abgestimmt sein. Zur Vermeidung unnötiger Belastungen der Luft am Arbeitsplatz sollte generell auf **wassergemischte KSS** sowie Schmierstoffe auf Mineralölbasis verzichtet werden. Geeignet sind vorwiegend Ester und Fettalkohole.

Wie bei der Nassbearbeitung wird auch bei der MMS eine Maschinenraumabsaugung zur Vermeidung von Emissionen und Stäuben am Arbeitsplatz empfohlen. Die abgesaugte Luft sollte, falls nötig über geeignete Filter, ins Freie abgeleitet werden.

Gegenüber der vollständigen Trockenbearbeitung ist die MMS mit zusätzlichen Kosten (Geräte und Schmiermittel) sowie geringen Umweltbelastungen verbunden. MMS sollte daher generell nur dann eingesetzt werden, wenn die Möglichkeiten der reinen Trockenbearbeitung vollständig ausgereizt sind (Werkzeug- und Verfahrensoptimierung) und damit keine Prozesssicherheit erzielt werden konnte.

Praxisnah und sehr informativ ist der eNewsletter Umwelttechnik Deutschland 2/2006 Kühlschmierstoffe (s. Literatur im rechten Infoblock). Dort werden Grundlagen und Praxisbeispiele zur Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung erläutert. Weiterhin finden Sie Richtlinien zu Kühlschmierstoffen, Kontaktadressen, Links sowie vertiefende Literatur.

Minimalmengen-Schmierung (MMS) - Stand der Technik

Bei vielen Bearbeitungsoperationen werden mit reiner **Trockenbearbeitung** in der Praxis nur unzureichende Bearbeitungsergebnisse erreicht, obwohl bei Vorversuchen gute Ergebnisse erzielt wurden. Hintergrund ist, dass das Toleranzfeld zum Erhalt der Prozesssicherheit bei der Trockenbearbeitung deutlich schmaler ist als bei konventioneller Nassbearbeitung. Hier besteht mit dem Einsatz der Minimalmengen-Schmiertechnik (MMS) zur Erhöhung der Prozesssicherheit eine kostengünstige, sichere und universell einsetzbare Ergänzungsmöglichkeit zur Trockenbearbeitung.

Grafik: Prozesssicherheit verschiedener Metallbearbeitungstechnologien

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Bei der MMS wird der Wirkbereich der Werkzeugschneiden oder das Werkzeug selbst mit kleinsten Mengen Öl bzw. MMS-Medium benetzt, um den notwendigen Schmiereffekt zur Reduzierung der Reibung zwischen Span und Spanfläche des Werkzeugs zu erreichen. Unter Verwendung geeigneter Schmierstoffe haben die Erfahrungen gezeigt, dass in der Regel Mengen im Bereich von 10 bis 20 ml/h zur Erzielung der gewünschten Schmierwirkung ausreichen. Bei kleinen Werkzeugen sind auch Anwendungen mit ca. 2 ml/h bekannt. Eine Kühlwirkung kann mit dem MMS-Einsatz kaum erzielt werden.

In Ergänzung zur reinen **Trockenbearbeitung** eignen sich zur Anwendung der MMS insbesondere

- Bearbeitungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide (Fräsen, Bohren, Sägen usw.)
- Bearbeitungsverfahren, bei denen die Kühlfunktion nicht im Vordergrund steht

- Prozesse, bei denen der Eingriffsbereich des Werkzeugs gut mit Schmierstoff benetzt werden kann.

Zur Applikation der geringen Schmierstoffmengen auf den Zerspanungsbereich werden im Wesentlichen drei Typen von MMS-Auftragssystemen eingesetzt:

- Überdruck-Sprühsysteme: Der Schmierstoffbehälter steht unter Druck (Pressluft), die Mengendosierung erfolgt über Drosselventile oder Kapillaren.
- Drucklose Sprühsysteme: Die Schmierstoffmenge wird aus einem drucklosen Behälter über Dosierpumpen gefördert.
- Airless-Auftragssysteme ("Spucksysteme"): Hierbei werden kleinste Schmierstofftropfen ohne Luftstrahl per Impuls auf die Bearbeitungsstelle "geschossen".

Grundsätzlich lässt sich beim MMS-Einsatz zwischen äußerer Zuführung (durch Düsen von außen auf die Bearbeitungsstelle) und innerer Zuführung (durch die Spindel und das Werkzeug) des Öl-Luft-Gemisches unterscheiden. Von entscheidender Bedeutung für die Wirksamkeit der Minimalmengen-Schmierung ist die Applikationstechnik in der Werkzeugmaschine. Diese muss an die spezifischen Randbedingungen des Produktionsprozesses angepasst werden, um die Zerspanstelle möglichst zielgenau mit den geringen Schmierstoffmengen zu versorgen.Typische Einsatzbeispiele der äußeren MMS-Zuführung sind Säge- und Fräsprozesse. Hier ist die Zugänglichkeit von außen in der Regel gut und die Schnitttiefen gering, so dass eine ausreichende Benetzung des Werkzeugs jederzeit gewährleistet ist. Auch Drehbearbeitungen, insbesondere im Werkstattbereich, lassen sich gut per äußerer Zuführung realisieren. MMS-Systeme mit äußerer Zuführung lassen sich in der Regel bei bestehenden Maschinen einfach nachrüsten.

Bild: Drehbearbeitung mit nachgerüsteter MMS

Bild: Überhitzung mit Rauchbildung ca. 5 Sek. nach Abschaltung der MMS

Fotos: Handwerkskammer Mannheim

Systeme mit innerer Zuführung werden bevorzugt bei Bohr- und Reiboperationen eingesetzt, da bei großen Bohrtiefe/Durchmesser-Verhältnissen (l/d > 3) eine MMS-Versorgung von außen nicht mehr sichergestellt werden kann. Bei der inneren Zufuhr des MMS-Mediums muss das Öl/Luft-Gemisch weit vor der Austrittsstelle erzeugt werden. Bei zu großen Öltröpfchen sowie bei ungeeigneten Strömungskanälen besteht die Gefahr, dass sich das Gemisch auf dem Weg zur Austrittsstelle wieder entmischt (insbesondere bei hohen Drehzahlen aufgrund der Fliehkräfte), sich Ablagerungen bilden und große Tröpfchen unregelmäßig austreten. Gleichmäßige Bearbeitungsergebnisse und Prozesssicherheit sind damit nicht mehr gewährleistet. Für die innere Zuführung sind daher MMS-Systeme, die sehr feine Tröpfchen erzeugen besser geeignet. Die Werkzeugmaschine benötigt im Falle einer inneren Zuführung eine spezielle Spindel, durch die der Schmierstoff an das Werkzeug geleitet werden kann. Insbesondere bei den heute üblichen hohen Spindeldrehzahlen werden an die benötigten Drehdurchführungen hohe Anforderungen gestellt. Für die diskontinuierliche Beaufschlagung, z. B. bei Stanz- und Biegeprozessen oder für die Herstellung kleiner Gewinde eignen sich auch so genannte Airless-Auftragssysteme, bei denen kleinste Tropfen auf die Bearbeitungsstelle "gespuckt" werden. Eine tabellarische Übersicht über Anwendungsbereiche, bei denen MMS Vorteile gegenüber der reinen Trockenbearbeitung aufweist finden Sie auf der Seite **Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Spanende Bearbeitung > Trockenbearbeitung > Stand der Technik**.

In der Regel werden nur sehr geringe Schmierstoffmengen, meist unter 10 ml/h benötigt. Bei diesen kleinen Mengen ist der Sprühstrahl nicht sichtbar, was häufig zu Unsicherheiten beim Maschinenbediener und zur unkontrollierten Erhöhung der Dosierung führt. Die Folge sind Ölablagerungen auf dem Werkstück und im Maschineninnenraum. Die Funktionsfähigkeit des MMS-Systems lässt sich mit einem vor die Düse gehaltenen Blatt Papier, auf dem langsam ein kreisförmiger Ölfilm sichtbar werden sollte, einfach nachweisen.

Bei hochwertigen Systemen sind inzwischen auch ergänzende Flussüberwachungssysteme verfügbar.

Bei Überdosierung bilden die Ölablagerungen zusammen mit feinen Spänen im Maschineninnenraum eine schmierige bis feste Schicht, die erhöhten Reinigungsaufwand bedeutet. Bei optimaler Einstellung des MMS-Systems kann dieser Effekt vermieden werden. Zur Vermeidung von Staub- und Ölnebelemissionen sollte die Werkzeugmaschine an eine Absauganlage mit geeigneter Abscheideeinrichtung angeschlossen sein. Bei der Bearbeitung von Al-Werkstoffen ist zudem die mögliche Brand- und Explosionsgefahr zu berücksichtigen. Hier sollten die abgesaugten Stäube über einen Nassabscheider abgeschieden werden.

Bild: Absauganlage mit Nassabscheider ; Ausgefilterter Al-Schlamm

Fotos: ABAG-itm, Pforzheim

MMS-Auftragssysteme

Aufgabe der **MMS**-Auftragssysteme ist die Erzeugung und Applikation sehr kleiner Schmierstoffmengen (5 bis 50 ml/h, teilweise auch darunter) auf den Wirkbereich Werkzeugschneide/Werkstück.

Derzeit sind über 20 MMS-Systemhersteller auf dem deutschen Markt vertreten. Die Gerätekosten liegen im Bereich von ca. 1.000 bis 6.000 Euro. Für den Anwender wesentlich sind insbesondere die Ausstattungsmerkmale bezüglich

- der Dosiertechnik (getrennte und reduzierbare Einstellmöglichkeiten für Luft und MMS-Medium),
- die Zuführ- und Düsentechnik (möglichst getrennte Medienführung bis zur Düse, Düsentechnik mit Mantelluft) sowie
- die Anbindungsmöglichkeiten der Steuerungstechnik an die Maschinensteuerung (MMS-Beaufschlagung nur wenn das Werkzeug im Eingriff ist).

Für die optimale Geräteeinstellung und die Positionierung der Düse (ca. 5 bis 10 cm zur Beaufschlagungsstelle) bedarf es einiger Vorversuche und möglichst Erfahrung. Selbst bei 20 ml/h sieht man an der Düse keinen Nebel (ein vorgehaltenes Papier zeigt erst nach Sekunden einen Ölfilm). Nebelbildung und Tropfenbildung auf dem Werkzeug oder Werkstück sind deutliche Anzeichen einer zu fetten Einstellung. Neben einem geeigneten Auftragsgerät hat der verwendete Schmierstoff große Bedeutung. Die Viskosität muss auf das Auftragsgerät und dessen Einstellung abgestimmt sein.

Grafik: Unterschiedliche Prinzipien von MMS-Systemen

Quelle: wbk, 2001

Bei den MMS-Auftragssystemen haben sich im Wesentlichen die drei folgenden Wirkprinzipien, die jeweils mit verschiedenen Gerätebauarten angeboten werden, etabliert:

Überdruck-Sprühsysteme: Der Schmierstoffbehälter steht unter Druck (Pressluft), die Mengendosierung erfolgt über Drosselventile oder Kapillaren. Systeme mit druckbeaufschlagten Behältern sind relativ einfach aufgebaut. Druckluft und Medium sollten getrennt einstellbar sein, um gegebenenfalls mit höherem Druck arbeiten zu können, um z. B. auch Späne aus tiefen Bohrungen druckluftunterstützt zu fördern, ohne dass dabei die Schmierstoffmenge geändert wird.

Bild: Beispiel eines Überdruck-Sprühsystems zur äußeren MMS-Applikation

Quelle: Fa. Link, Karlsruhe

Drucklose Sprühsysteme: Die Schmierstoffmenge wird aus einem drucklosen Behälter über Dosierpumpen gesteuert. Der apparative Aufwand ist somit etwas höher. Genauigkeit und Regelbarkeit der Dosierpumpe bestimmen das Einsatzspektrum und die Reproduzierbarkeit der Einstellungen und somit die Bearbeitungsergebnisse. MMS-Geräte mit drucklosem Vorratsbehälter haben den Vorteil, dass das MMS-Medium während des Betriebs nachgefüllt werden kann.

Airless-Auftragssysteme ("Spucksysteme"): Bei diesem Gerätetyp werden kleinste Schmierstofftropfen ohne Luftstrahl per Impuls auf die Bearbeitungsstelle "geschossen".

Bild: Spucksystem (hier beim Gewindeschneiden)

Foto: Fa. Steidle, Leverkusen

Generell gilt: Systeme die sehr feine Tröpfchen erzeugen (1 – 5 µm) sind zur Vermeidung von Schmierstoff-Ablagerungen besser für die innere Zuführung geeignet. Für eine äußere MMS-Zuführung eignen sich insbesondere Systeme, die etwas größere Tröpfchen (5 – 20 µm) erzeugen, damit diese über eine ausreichende kinetische Energie zur Durchdringung des Luftstroms bis zur Bearbeitungsstelle verfügen. Für die diskontinuierliche Beaufschlagung, z. B. bei Stanz- und Biegeprozessen eignen sich auch Airless-Auftragssysteme, bei denen kleinste Tropfen auf die Bearbeitungsstelle "gespuckt" werden.

Für gute und reproduzierbare Bearbeitungsergebnisse von erheblicher Bedeutung ist auch die Düsentechnik. Konzeption und Ausführung der Sprühdüsen bestimmen sowohl die erforderlichen Einsatzmengen (geringe **Overspray**-Verluste), das Ansprechverhalten des Systems (kurze Reaktionszeiten bis zum stabilen Sprühstrahl, kein Nachtropfen) als auch die gezielte Beaufschlagung des Wirkbereichs. Zusammen mit der Zweikanaltechnik (MMS-Medium und Luft werden getrennt bis zur Düse geführt) haben sich Düsen mit einem zusätzlichen Luftmantel zur Führung des Sprühstrahls zur Wirkstelle bewährt.

Bild: Düsenanordnung bei einer Drehbearbeitung

Foto: Fa. Link, Karlsruhe

Zu den wichtigsten Anforderungen an MMS-Systeme wurde ein allgemein gültiges Lastenheft erstellt.

Tabelle: Lastenheft mit Anforderungen an MMS-Systeme

Art der Forderung	Eigenschaft	Priorität
Mindestforderung	Kleinste Einstellung der MMS-Menge (ca. 5 ml/h)	1
	Schnelles Ansprechverhalten des Systems bis zum Aufbau des Sprühnebels (max. 3 s)	1
	Kein Nachtropfen	1
Festforderung	Geringe Lärmentwicklung im Betrieb	2
	Getrennte Einstellbarkeit von Flüssigkeits- und Druckluftstrom	1
	Exakte und vibrationsunempfindliche Einstellbarkeit der Düsen	1
	Überwachung der Funktion (Füllstand, Medientransport und Druckluft)	1
	Mögliche Ansteuerung des Systems durch die NC-Steuerung	2
	Geringe Nebelbildung	2

	Zielgenaue Benetzung im Bereich der Wirkstelle	1
	Forderungen des Arbeits- und Umweltschutzes einhalten	1
	Einfacher Wechsel des Mediums	2
	Verlustfreier Transport des Mediums bis zur Austrittsdüse (keine Leckagen in den Arbeitsraum)	1

Quelle: wbk, Karlsruhe

Dem Gerätehersteller sollten Sie insbesondere folgende Informationen zur Verfügung stellen:

- Soll die MMS-Zuführung von außen oder durch die Spindel erfolgen?
- Bearbeitungsprozess und Werkstoff(e), um die Anforderungen an den Schmierstoff und die Mindestdosiermenge abschätzen zu können.
- Wie viele Düsen wollen Sie maximal anschließen?
- Soll die Ansteuerung des MMS-Geräts manuell oder über die Maschinensteuerung erfolgen?
- Haben Sie bereits einen bevorzugten Schmierstoff ausgewählt, oder soll das Medium auch vom Gerätehersteller bezogen werden (Abstimmung Schmierstoff - MMS-Gerät)?
- Wo kann das MMS-Gerät an oder in die Maschine eingebaut werden? Dabei sollte die Leitungslänge bis zur Düse möglichst kurz sein.

Nahezu alle Gerätehersteller bieten Beratung und Unterstützung zur optimalen Applikation an. Im Bedarfsfall wird in der Regel auch ein Erprobungsgerät für erste Vorversuche zur Verfügung gestellt. Nutzen Sie die Erfahrungen der Gerätehersteller!

Schmierstoffe für den MMS-Einsatz

Schmierstoffe für Anwendungen als Minimalmengen-Schmierung MMS sind in der Regel auf synthetischer oder nativer (pflanzlicher) Basis (Ester, Fettalkohole) aufgebaut und weisen sehr gute Schmiereigenschaften auf. Gegenüber konventionellen **Kühlschmierstoffen (KSS)** ist keine oder nur eine geringe **Additivierung** erforderlich, was sich positiv auf die Humanverträglichkeit auswirkt. Verschiedene Untersuchungen (insbesondere der Berufsgenossenschaften) haben zudem gezeigt, dass die Arbeitsplatzbelastung bei MMS deutlich geringer als bei konventioneller Nassbearbeitung ist.

Bei der Auswahl des geeigneten MMS-Schmierstoffs sollten die folgenden Kriterien berücksichtigt werden.

- Eine an den Anforderungen der Anwendung ausgerichtete Schmierwirkung (Reduzierung der Reibung beim Zerspanen)
- Eine an die Leistungsfähigkeit und das Funktionsprinzip des eingesetzten MMS-Geräts angepasste Viskosität (Abstimmung mit dem Gerätehersteller)
- Berücksichtigung der toxikologischen und dermatologischen Unbedenklichkeit
- Geringe Nebelneigung, hoher Flammpunkt (> 120^0C)
- Verträglichkeit mit Elastomeren, Dichtungen und Lacken in Bezug auf Anlagenteile und Leitungen
- Hohe Lagerungsstabilität (min. > 6 Monate), keine Verharzung in Aggregaten, Leitungen usw.

Bei der Auswahl besonders berücksichtigt werden sollte, dass bei der MMS auch lungengängige Tröpfchen im Bereich von 1 bis 10 µm erzeugt werden. Zudem verdampfen Anteile von Spänen und Werkzeug bei relativ hohen Temperaturen. Der Humanverträglichkeit ist daher besondere Beachtung zu schenken.

Tabelle: Übersicht zur Beurteilung von Schmierstoffen für den MMS-Einsatz

Stoffgruppe	Schmier-eigenschaften	Emissionen (Dämpfe, Nebel, Aerosole)	Eignung für
Öle auf Ester-Basis	+ + +	+ +	universell, schwer zerspanbare Werkstoffe
Öle auf Fettalkohol-Basis	+ +	+ +	Buntmetalle
Techn. Weißöle (Naphtene)	+ +	+	Stähle
Emulsionen (auf Mineralöl- oder Synthetenbasis)	+	- -	Für den MMS-Einsatz nicht zu empfehlen
Öle auf Mineralölbasis	+ + +	- -	

Quelle: Berufsgenossenschaft Holz und Metall, BGHM ; ABAG-itm, Pforzheim 2009

Produkte auf Mineralölbasis oder KSS-Emulsionen sollten für MMS-Anwendungen wegen möglicher gesundheitsschädlicher Emissionen keine Anwendung finden. Auch wenn Schmierstoffe auf Ester- oder Fettalkoholbasis deutlich teurer als konventionelle KSS sind, sollten nur geeignete Produkte eingesetzt werden. Bei Verbrauchsmengen von erfahrungsgemäß wenigen Litern pro Monat spielt der Schmierstoffpreis nur eine untergeordnete Rolle.

Erodierverfahren

Insbesondere zur Herstellung von Einzelstücken und komplexen Formen bei schwer bearbeitbaren Materialien wie z. B. Hartmetallen im Werkzeug- und Formenbau sowie für kleine Serien stellt die Formgebung mittels Erodieren eine wichtige Alternative zu anderen spanenden Bearbeitungsverfahren dar.

Unter dem Oberbegriff Funkenerosion (FE) werden alle Bearbeitungsverfahren zusammengefasst, bei denen in einer nicht elektrisch leitenden Flüssigkeit (Dielektrikum) durch elektrische Entladung zwischen zwei Elektroden Material abgetragen wird. Verfahrenstechnische Grundlagen, Begriffe und Hinweise zum sicheren Betrieb enthalten die DIN 8550, DIN 8590 sowie die VDI-Richtlinien 3402 Blatt 1 bis 3. Mit Erodierverfahren können alle elektrisch leitenden Werkstoffe sehr genau bearbeitet werden. Nachteilig ist der hohe Zeit- und Energieaufwand. Bei den Erodierverfahren ist sowohl aus verfahrenstechnischer, als auch aus umwelttechnischer Sicht zwischen zwei Verfahrensvarianten zu unterscheiden:

- Drahterodieren, bei dem meist entionisiertes Wasser als Dielektrikum eingesetzt, und
- Senkerodieren, bei dem als Dielektrikum in der Regel synthetische Kohlenwasserstoffe verwendet werden.

Umweltrelevanz beim Erodieren

Grafik: Umweltaspekte b

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Die aus dem Werkstück durch die Elektroerosion abgetragenen feinen Metallpartikel werden durch das Dielektrikum von der Bearbeitungsstelle fortgespült und müssen aus diesem durch Filtration wieder entfernt werden. Als Abfälle resultieren daraus (ölhaltige) Erodierschlämme, sowie gegebenenfalls Filterhilfsmittel (verbrauchte Filterkerzen).

Die beim Senkerodieren eingesetzten Erodierdielektrika auf Kohlenwasserstoffbasis stellen wegen des Brand- und **Wassergefährdungspotenzials** besondere Ansprüche an die Maschine und den Betrieb. Senkerodiermaschinen müssen über Brandschutzeinrichtungen sowie über Absaug- und Filtereinrichtungen (wegen der beim Erodierprozess entstehenden Dämpfe) verfügen. Dielektrika sind als **Gefahrstoffe** eingestuft. Da ein Hautkontakt in der Praxis kaum zu vermeiden ist, sollte, wie bei den Kühlschmierstoffen, auf möglichst "hautschonende" Produkte und entsprechenden Hautschutz geachtet werden.

Abfallrelevant sind im Wesentlichen die per Elektroerosion von den Werkstücken abgetragenen Metallpartikel, die durch das Dielektrikum von der Bearbeitungsstelle weggespült und im Folgeschritt aus dem Dielektrikum wieder ausgetragen werden, sowie verbrauchte Filterpatronen und Ionentauscherharze (beim Drahterodieren).

Drahterodieren

Beim Drahterodieren stellt ein kontinuierlich zugeführter Draht die eine Elektrode und das Werkstück die zweite Elektrode dar. Mittels Elektroerosion wird in das Werkstück die gewünschte Form "geschnitten". Auf diese Weise können sehr komplexe, jedoch in erster Linie nur zweidimensionale Formen aus allen elektrisch leitenden Werkstoffen hergestellt werden. Als Dielektrikum wird beim Drahterodieren in der Regel entionisiertes Wasser eingesetzt. Im Gegensatz zum Senkerodieren spielen bei Drahterodieren Brandschutz und Wassergefährdung durch das Dielektrikum keine Rolle.

Umweltaspekte beim Drahterodieren

Grafik: Umweltrelevanz beim Drahterodieren

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Beim Erodiervorgang entstehen an der Bearbeitungsstelle Dämpfe, die sich aus verdampfendem Dielektrikum und Metalldämpfen zusammensetzen. Je nach bearbeitetem Werkstoff (auch die Werkstoffe des Erodierdrahts sind dabei zu beachten!) sind diese gesundheitsgefährdend. Wichtig ist daher, dass die Bearbeitungsstelle ausreichend hoch mit Dielektrikum bedeckt ist, sodass die Dämpfe im Wasser auskondensieren können. Die VDI-Richtlinie 3402 fordert eine Überdeckung von mindestens 40 mm, teilweise werden Überdeckungen bis zu 80 mm empfohlen. Durch den Erodierprozess gehen damit Metallionen, meist auch Schwermetallionen, im Dielektrikum in Lösung.

Beim Drahterodieren ist die Erhaltung des Dielektrikums Wasser im kreislauffähigen Zustand aufwändiger als beim Senkerodieren, da an die Wasserqualität hohe Anforderungen bezüglich Leitfähigkeit und Partikelfreiheit gestellt werden. Zum einen müssend die abgetragenen Metallpartikel herausgefiltert, zum anderen die in Lösung gegangenen Metallionen aus dem Kreislaufwasser entfernt werden. Das Kreislaufwasser ist auch bei guter Pflege schwermetallhaltig und kann nicht ohne Behandlung in die Kanalisation eingeleitet werden..

Abfallrelevant sind im Wesentlichen die per Elektroerosion von den Werkstücken (und dem Erodierdraht) abgetragenen Metallpartikel, die durch das Dielektrikum von der Bearbeitungsstelle weggespült und im Folgeschritt aus dem Dielektrikum wieder ausgefiltert werden müssen (Erodierschlamm). Die werkstückspezifischen Mengen können durchaus erheblich sein. Die abgetragenen Metallpartikel werden üblicherweise über Filterpatronen ausgefiltert. Leistungsfähige Drahterodiermaschinen sind hierzu mit 4 bis 16 Filterpatronen bestückt, die in Abhängigkeit von der Maschinenauslastung durchschnittlich einmal im Monat ausgewechselt werden müssen. Die Entfernung der Metallionen erfolgt durch Mischbettionentauscher.

Muss das Kreislaufwasser abgelassen werden, z. B. bei Instandhaltungsarbeiten, so darf das Abwasser keinesfalls unbehandelt in die Kanalisation gegeben werden. Selbst bei Leitwerten von < 10 µS liegt der Schwermetallgehalt i. d. Regel deutlich über den Einleitgrenzwerten. Diese finden Sie im Bereich Metall > Nebenprozesse > Abwasserbehandlung. Ausgetauschtes Wasser aus Drahterodieranlagen muss entweder in einer innerbetrieblichen Abwasserbehandlungsanlage behandelt oder extern entsorgt werden.

Entsorgungshinweise: Die aus Drahterodierprozessen anfallenden Abfälle sind zur Entsorgung (nach Möglichkeit Verwertung, ansonsten Beseitigung) folgenden Abfallschlüsseln gemäß **AVV** zuzuordnen:
Erodierschlamm: In der Regel 12 01 14* Bearbeitungsschlämme, die gefährliche Stoffe enthalten, wenn kein Öl und keine Schwermetalle enthalten sind auch unter 12 01 15 Bearbeitungsschlämme mit Ausnahme derjenigen, die unter 12 01 14 fallen. Alternativ kann auch der Abfallschlüssel 12 01 18* ölhaltige Metallschlämme (Schleif-, Hon- und Läppschlämme) verwendet werden, wenn z. B. noch andere Schleifschlämme im Unternehmen anfallen und damit eine Verwertungsmöglichkeit gegeben ist.
Verbrauchte Filterpatronen: Wenn diese noch Erodierschlamm enthalten 15 02 02* Aufsaug- und Filtermaterialien…die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind. Sind die Filterpatronen frei von Erodierschlämmen auch als nicht gefährlicher Abfall unter 15 02 03 Aufsaug- und Filtermaterialien…mit Ausnahme derjenigen, die unter 15 02 02 fallen.
Gesättigte Ionenaustauscherharze: 11 01 16* gesättigte oder verbrauchte Ionenaustauscherharze.
Prozesswasser aus Drahterodiermaschinen: Behandlung in der innerbetrieblichen Abwasserbehandlungsanlage oder Entsorgung unter 11 01 11* wässrige Spülflüssigkeiten, die gefährliche Stoffe enthalten.

Abfallreduzierung durch rückspülbare Filtersysteme

Anstelle der Filterpatronen sollten bevorzugt regenerierbare Filtersysteme eingesetzt werden. Inzwischen stehen leistungsfähige Systeme zur Verfügung, die ohne Filterhilfsmittel auskommen. Bei Investitionskosten von 15 - 20 000 Euro amortisieren sich rückspülbare Filtersysteme nach vier bis sechs Jahren. Können mehrere Erodiermaschinen an eine Filteranlage angeschlossen werden, so reduziert sich die Amortisationszeit auf zwei bis drei Jahre.

Tabelle: Verringerung der Umweltbelastung durch rückspülbare Filtersysteme

	Vorher	Nachher	Reduktion um
Filterpatronen	70 Stück/a	0 Stück/a	100 %
Filterpatronen mit Erodierschlamm	315 kg/a	210 kg/a	56 %
Verwertung des Erodierschlamms	210 kg/a	0 kg/a	100 %

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Beim Drahterodieren anfallender Erodierschlamm enthält neben den Metallpartikeln (Achtung: häufig auch Schwermetalle) vorwiegend Wasser und kann je nach Art der enthaltenen Werkstoffe zusammen mit anderen Schleif-, Hon- und Läppschlämmen (Abfallschlüssel 12 01 18*) metallurgisch verwertet werden.

Hartmetallschlämme weisen einen hohen Materialwert auf und sollten nach Möglichkeit getrennt erfasst und an Recyclingbetriebe bzw. Hartmetallhersteller abgegeben werden, je nach Metallgehalt und Menge i. d. Regel gegen Vergütung.

Abfallreduzierung durch regenerierbare Ionenaustauscherharze

Zur Entfernung in Lösung gegangener Metalle werden Mischbettionenaustauscher (Anionen und Kationen als Harzmischung) eingesetzt. Wenn Einwegharze verwendet werden, müssen die beladenen Harze als **gefährlicher Abfall (Sonderabfall)** unter dem Abfallschlüssel 11 01 16* gesättigte oder verbrauchte Ionenaustauscherharze entsorgt werden.

Zur Abfallvermeidung sollten hier regenerierbare Mischbettionentauscherharze eingesetzt werden. Je nach Anfallmenge kann die Regeneration im eigenen Betrieb oder bei kleineren Mengen in zentralen Anlagen erfolgen. Bei der zentralen Regenerierung können auch die an den Harzen angelagerten Metallionen in metallischer Form zurückgewonnen werden. Dies ist insbesondere bei teuren Metallen wie z. B. Wolfram oder Kobalt aus Hartmetallen interessant. Für den Anwender liegen die Beschaffungs- und Entsorgungskosten von Einwegharzen auf ähnlichem Niveau wie die Regenerierungskosten.

Bild: Tauschpatrone für 30L regeneriertes Mischbettharz

Quelle: Fa. UT&S, Birkenfeld

Neben dem Vorteil der Abfallreduzierung ergibt sich für den Erodierbetrieb ein weiterer Vorteil durch reduzierte Austauschzeiten für die Patronen, d. h. geringere Maschinenstillstandszeiten.

Mit den beiden beschriebenen Systemen können alle beim Erodieren anfallenden Metallabfälle in die Sekundärmetallurgie zurückgeführt werden.

Grafik: Stoffkreislauf für metallische Rückstände aus Drahterodiermaschinen

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Senkerodieren

Beim Senkerodieren entspricht die Elektrode der Negativform des herzustellenden Werkstücks. Durch den funkenerosiven Abtrag werden alle Konturen mit sehr hoher Genauigkeit im Werkstück abgebildet. Insbesondere bei harten Werkstoffen können durch Senkerodieren komplexe Formen mit hoher Genauigkeit und guten Oberflächeneigenschaften hergestellt werden. Die Anwendungsbereiche sind vorwiegend im Formen- und Werkzeugbau.

Bild: Erodierte Pressform für die Glasherstellung

Quelle: Fa. Oel-Held, Stuttgart

Beim Senkerodieren werden als Dielektrikum meist synthetische Kohlenwasserstoffe verwendet, die als **Gefahrstoffe** eingestuft sind, sodass bei Lagerung, Umgang und Einsatz die geltenden gesetzlichen Regelungen und Richtlinien beachtet werden müssen. In großen Erodieranlagen können bis zu mehreren tausend Litern Dielektrikum im Umlauf sein. Besonderes Augenmerk ist auch auf die Vermeidung und Absaugung von beim Erodiervorgang entstehenden Dämpfen zu richten.

Grafik: Umweltrelevanz beim Senkerodieren

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Arbeitssicherheit und Umwelt

Die beim Senkerodieren eingesetzten Erodierdielektrika auf Kohlenwasserstoffbasis stellen aus Arbeitsschutzaspekten und wegen ihres Brand- und **Wassergefährdungspotenzials** hohe Ansprüche an die Betriebe. Bei der Auswahl des Dielektrikums sollten daher auch Kriterien des Arbeitsschutzes wie Hautverträglichkeit, Toxizität (mögl. geringer Aromatengehalt), geringe Rauchentwicklung und geringe Geruchsentwicklung berücksichtigt werden. Da der Hautkontakt in der Praxis kaum ganz zu vermeiden ist, sollte, wie bei den Kühlschmierstoffen, auf möglichst "hautfreundliche" Produkte und entsprechenden Hautschutz geachtet werden.

Senkerodiermaschinen müssen über Brandschutzeinrichtungen und wegen der beim Erodierprozess entstehenden Dämpfe über Absaug- und Filtereinrichtungen verfügen. Eine Zusammenstellung von Hinweisen und Vorgaben zum sicheren Betrieb von Senkerodieranlagen enthält die VDI-Richtlinie 3402. Die beim Erodiervorgang an der Bearbeitungsstelle entstehenden Dämpfe sind gesundheitsgefährdend und setzen sich aus verdampfendem Dielektrikum und Metalldämpfen zusammen. Wichtig ist daher, dass die Bearbeitungsstelle ausreichend hoch mit Dielektrikum bedeckt ist, sodass die Dämpfe im Dielektrikum auskondensieren können. Die VDI-Richtlinie 3402 fordert eine Überdeckung von mindestens 40 mm, teilweise werden Überdeckungen bis zu 80 mm empfohlen.

Abfallvermeidung und -verwertung

Bei guter Pflege können die Dielektrika bis zu 10 Jahren im Kreislauf gefahren werden. Hierfür maßgeblich sind die Vermeidung von Fremd- und Schmutzeinträgen sowie ein wirksames Filtrationssystem.

Abfallrelevant sind im Wesentlichen die per Elektroerosion von den Werkstücken abgetragenen Metallpartikel, die durch das Dielektrikum von der Bearbeitungsstelle weggespült und im Folgeschritt aus dem Dielektrikum wieder ausgetragen werden müssen (ölhaltiger Erodierschlamm). Die werkstückspezifischen Mengen können durchaus erheblich sein. Trotz der durch die sehr feinen Partikel hohen Anforderungen an Filtrationsfeinheit (für die Feinbearbeitung werden Filterfeinheiten von bis zu 1 µm gefordert), ist die Erhaltung des Dielektrikums im kreislauffähigen Zustand beim Senkerodieren mit weniger Aufwand verbunden als beim Drahterodieren.

Für den Filtrationsprozess werden sowohl Einwegfilterpatronen als auch rückspülbare Filtersysteme eingesetzt. Filterpatronen sollten jedoch nur bei kleinen, sporadisch genutzten Erodieranlagen (bis 450 mm³/min.) eingesetzt werden. Bei größeren oder auch mehreren Anlagen lohnt sich der Einsatz eines rückspülbaren Filtersystems. Leistungsfähige Systeme stehen zur Verfügung. Die beiden primär eingesetzten Filtersysteme sind Anschwemmfilter (mit dem Nachteil, dass über das Filterhilfsmittel, z. B. Kieselgur ca. 50 % mehr Abfall anfällt) sowie sogenannte Spaltlippenfilter, die ohne Filterhilfsmittel auskommen.

Grafik: Rückspülbares Filtersystem für Erodierdielektrika (Schema Transor)

Quelle: Oel Held, Stuttgart

Entsorgungshinweise: Die aus Senkerodierprozessen anfallenden Abfälle sind zur Entsorgung (nach Möglichkeit Verwertung, ansonsten Beseitigung) folgenden Abfallschlüsseln gemäß **AVV** zuzuordnen:
Erodierschlamm: 12 01 14* Bearbeitungsschlämme, die gefährliche Stoffe enthalten, alternativ auch 12 01 18* ölhaltige Metallschlämme (Schleif-, Hon- und Läppschlämme).
Verbrauchte Filterelemente: In der Regel mit Öl und Schlammresten verunreinigt 15 02 02* Aufsaug- und Filtermaterialien…die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind.
Verbrauchte Erodierdielektrika: Wenn auf synthetischer Basis: 12 01 10* synthetische Bearbeitungsöle, wenn auf Basis von Mineralölen, dann unter 12 01 07* halogenfreie Bearbeitungsöle auf Mineralölbasis.

Beim Senkerodieren anfallender Erodierschlamm, enthält neben den Metallpartikeln (Achtung: häufig Schwermetalle) hohe Werte an Kohlenwasserstoffen und kann, gegebenenfalls nach vorheriger Entölung, je nach Art der enthaltenen Werkstoffe zusammen mit anderen Schleif-, Hon- und Läppschlämmen (Abfallschlüssel 12 01 18*) metallurgisch verwertet werden.

Insbesondere Hartmetallschlämme weisen einen hohen Materialwert auf und sollten daher nach Möglichkeit getrennt erfasst und an Recyclingbetriebe bzw. Hartmetallhersteller abgegeben werden. Je nach Metallgehalten und Menge erfolgt i. d. Regel eine Vergütung.

Umformende Bearbeitungsverfahren

Umformende Bearbeitungsverfahren gehören als Unterkategorie zu den spanlosen Metallbearbeitungsverfahren und beinhalten ein breites Spektrum von Umformprozessen von kalten oder erwärmten Metallen durch

- Druck (Schmieden, Fließpressen, Walzen),
- Zug-Druck (z. B. Tiefziehen)
- Zug (Durchziehen, Streckziehen)
- Biegen (Abkanten, Abwinkeln) oder
- Schub (z. B. Verwinden)

Umformende Verfahren weisen in der Regel einen besseren Materialausnutzungsgrad auf als spangebende Verfahren und haben damit eine höhere Ressourceneffizienz.

Walzwerke sind ab bestimmten Durchsatzmengen genehmigungsbedürftig nach der **4. BImSchV**, Anlagenverordnung, Spalte 2

- bei Kaltband ab einer Bandbreite > 650 mm
- bei der Verarbeitung von Schwermetallen ab einer Tonne pro Stunde Durchsatzleistung
- bei der Verarbeitung von Leichtmetallen ab 0,5 Tonnen pro Stunde Durchsatzleistung

Umweltaspekte bei der umformenden Metallbearbeitung

Zur Unterstützung des Prozesses (Reduzierung des Reibwiderstandes, Kühlung der Werkzeuge) werden bei umformenden Metallbearbeitungsverfahren oft Hilfsstoffe, insbesondere Schmierstoffe, eingesetzt. Durch den Hilfsstoffeinsatz sind diese Prozesse teilweise überhaupt erst industriell anwendbar.

Die meisten der eingesetzten Hilfsstoffe wie z. B. Walz- und Tiefziehöle sowie Ziehmittel sind **Gefahrstoffe** und verlangen entsprechend vorkehrende Maßnahmen beim Transportieren, Lagern und Anwenden. Die Einsatzmengen sind in der Regel im Vergleich zu spanenden Bearbeitungsverfahren gering, da der Auftrag direkt auf die Materialoberfläche, meist in dünnen Schichten erfolgt.

Je nach Umformungsgrad kann sich der Werkstoff beim Umformprozess erheblich erwärmen. Emissionen durch Verdampfen der Hilfsstoffe lassen sich dabei kaum vermeiden und sind an der Entstehungsstelle zuverlässig abzusaugen.

Die durch Umformverfahren hergestellten Halbzeuge oder Produkte müssen, wenn der Umformhilfsstoff nicht gleichzeitig als Korrosionsschutz dient, vor der Weiterverarbeitung oder dem Versand gereinigt werden. Die in das Reinigungsbad eingetragenen Hilfsstoffe belasten analog dem Aufkommen das Reinigungsmedium und führen in der Reinigungsstufe zu entsprechendem Abfallaufkommen.

Nach Möglichkeit sollte daher auf Hilfsstoffe verzichtet (z. B. durch hochwertige Werkzeuge) oder deren Auftrag möglichst nur in geringen Mengen erfolgen. Bei der spanenden Metallbearbeitung ist das Einsatzspektrum der Trockenbearbeitung bzw. Minimalmengen-Schmierung (MMS) mit all seinen Vorteilen schon weit entwickelt. Bei Umformprozessen ist das Erfahrungsspektrum noch nicht so vielfältig aber es lohnt sich die betrieblichen Einsatzmöglichkeiten zu prüfen.

Auf die Einsatzmöglichkeiten des Schmierstoff-Verzichts, Auftragssystemen zur Minimalmengen-Schmierung MMS sowie des Einsatzes von so genannten Trockenschmierstoffen wird auf den folgenden Seiten für drei Kernbereiche von Umformprozessen eingegangen

- MMS bei Kaltwalzprozessen
- MMS bei der Blechumformung
- MMS bei der Massivumformung

Die Vorteile der Minimalmengen-Schmierung bzw. der Trockenbearbeitung resultieren dabei insbesondere

- aus einem bis zu 95 % reduzierten Schmierstoffeinsatz,
- der Reduzierung des Reinigungsaufwands von Produkten, Maschinen und der Umgebung bis teilweise zur vollständigen Vermeidung von Reinigungs- und Entfettungsprozessen,
- einer Steigerung der Effizienz (Erhöhung der Qualität, Reduzierung des Ausschusses),
- einer verbesserten Arbeitsplatzqualität
- und den letztendlich vermiedenen Entsorgungskosten für verbrauchte oder ausgeschleppte Schmierstoffe.

Nicht nur unter den Aspekten des Arbeits- und Umweltschutzes, sondern insbesondere auch unter ökonomischen Gesichtspunkten ist daher die Betrachtung der Fertigungskette, in die das jeweilige Bearbeitungsverfahren eingebunden ist, von erheblicher Bedeutung. Einflüsse aus vorgeschalteten Bearbeitungsprozessen sollten ebenso berücksichtigt werden wie die Auswirkungen der verwendeten Bearbeitungs- und Hilfsstoffe auf die Folgeprozesse.

Zu entsorgende Umformhilfsstoffe (z. B. Öle, Fette, Pasten, Emulsionen) sind in der Regel **gefährliche Abfälle (Sonderabfälle)**, zumal sie meist noch mit feinem Metallabrieb verunreinigt sind.

Stanz- und Biegeprozesse

Sowohl in der Metall- als insbesondere auch in der Elektrobranche werden Stanz- und Biegeprozesse häufig in Kombination eingesetzt, da sich mit dieser Verfahrenskombination komplexe Bauteile mit hoher Wirtschaftlichkeit herstellen lassen. Als Vormaterialien werden vorwiegend Halbzeuge aus Blech, Platten, Bandmaterialien sowie Drähte verwendet. Die Verarbeitung erfolgt meist in mehreren Teilschritten in Verbund- oder in hintereinander angeordneten Werkzeugen.

Umweltaspekte bei Stanz- und Biegeprozessen

Zur Reduzierung des Reibwiderstandes sowie zur Schmierung der Werkzeuge werden meist Öle als Schmierstoff eingesetzt, vorwiegend in Form einer Verlustschmierung. Bei der Auswahl geeigneter Schmierstoffe sind neben den technischen auch die Aspekte des Arbeits- und des Umweltschutzes zu berücksichtigen.

Getreu der Grundregel „so viel wie nötig, so wenig wie möglich“ kann der Schmierstoffauftrag auf das zu verarbeitende Material bei Blechen und Bändern über Minimalmengen-Schmiersysteme (MMS) aufgebracht werden. Weitere Informationen über verfügbare Systeme, Vorteile und Einsatzbereiche finden Sie auf den Seiten zur MMS-Blechumformung.

Sollen schwerpunktmäßig bestimmte Stellen, z. B. in einem Stanzwerkzeug geschmiert werden, so eignen sich dazu insbesondere Spuck- oder Sprühsysteme, mit denen bei geöffnetem Werkzeug oder über interne Kanäle sehr geringe Schmierstoffmengen gezielt an die zu schmierende Stelle aufgebracht werden können.

Bei der Verarbeitung von Buntmetallen mit geringen Materialstärken sind die Anforderungen an die Schmiereigenschaften des Schmierstoffs meist nicht hoch, sodass leichte Qualitäten ausreichen. Um für einen Folgeprozess trockene Teile zu haben, womit z. B. ein Reinigungsschritt entfallen kann, werden teilweise auch leicht verdampfende Schmiermedien wie Alkohole (Spiritus) verwendet. Neben einer sparsamen Dosierung ist hierbei auf eine geeignete Absaugung zu achten.

Insbesondere bei Stanzprozessen ist die Materialausnutzung (Ressourceneffizienz) ein wesentlicher Kostenfaktor. Je nach Bauteilform und verfügbaren Halbzeugabmessungen können die Stanzverluste (Stanzabfälle) bis zu 80 % des Materialeinsatzes ausmachen. Der Abstimmung der Halbzeugabmessung auf die Bauteilform und der Optimierung des Stanzbilds kommt daher sowohl aus ökonomischer als auch aus ökologischer Sicht eine hohe Bedeutung zu. Bei der umformenden Bearbeitung von Drahtmaterialien ist die Materialausnutzung dagegen sehr hoch, in der Regel fallen nur am Anfang und Ende eines Coils geringe Abfälle an.

Da, wie angesprochen, die Stanzabfälle i. d. Regel einen hohen Anteil am Materialverbrauch ausmachen und diese uneingeschränkt verwertbar sind, ist deren werkstoffspezifische Erfassung auch finanziell interessant.

Foto: Werkstoffspezifische Erfassung von Stanzabfällen

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Stimmen Sie mit Ihrem Schrotthändler ab, welche Werkstoffqualitäten getrennt oder gemeinsam gesammelt werden können, um eine optimale Rückvergütung zu bekommen. Mischschrotte erzielen nur vergleichsweise geringe Erlöse. Informieren Sie Ihre Mitarbeiter und bestimmen Sie einen Mitarbeiter, der für die richtige Zuordnung der Metallabfälle zuständig ist.

Metallumformung durch Pressen und Tiefziehen

Press- und Tiefziehprozesse werden zur Herstellung von dreidimensionalen Bauteilen aus stangen- und blechförmigen Halbzeugen eingesetzt. In Abhängigkeit vom Werkstoff und vom Umformgrad sind zur Vermeidung von Anschweißungen an den Werkzeugen und teilweise auch zur Kühlung Kühlschmierstoffe (KSS) erforderlich.

Insbesondere beim Tiefziehen werden an die Schmierstoffe sehr hohe Anforderungen bezüglich der Schmierfähigkeit bei hoher Druckbeanspruchung gestellt. Die Bandbreite der eingesetzten Schmierstoffe reicht von dünnflüssigen Mineralölen über Pasten bis zu Kunststoffbeschichtungen. Die Wahl der Kühlschmierstoffe und die richtige "Schmierstrategie" kann bei diesen und ähnlichen Prozessen eine entscheidende Rolle bezüglich der Wirtschaftlichkeit und der Prozesssicherheit haben.

Bei Umformprozessen durch Pressen und Tiefziehen ist weniger die Menge als die Stabilität und die Gleichmäßigkeit der aufgetragenen Schmierstoffe ausschlaggebend. Mit Systemen zur Minimalmengen-Schmierung (MMS) lassen sich geringste Schmierstoffmengen prozesssicher applizieren. Ein vollständiger Verzicht auf Schmierstoffe (trockene Umformung) ist meist nur bei geringen Materialstärken bzw.geringen Umformgraden möglich. Prozessspezifische Informationen zu Einsatzmöglichkeiten der Minimalmengen-Schmierung und Trockenbearbeitung finden Sie auf den Seiten zur MMS-Massivumformung.

Vorbeugung gegen Umweltrisiken

Da bei Press-, Tiefzieh- und ähnlichen Umformprozessen zur Prozessunterstützung vorwiegend KSS und andere Schmierstoffe eingesetzt werden, sollte den daraus resultierenden Gefahrenpotenzialen mit vorbeugenden Maßnahmen entgegengewirkt werden. Die bedeutendsten Umweltaspekte sind Gefährdungspotenziale und Abfallrelevanz aus dem KSS-Einsatz sowie Emissionen bei prozessbedingter Erwärmung der Werkstücke.

Darauf sollten Sie achten:

- Bei der KSS-Auswahl sollte neben den technologischen Anforderungen auf möglichst umweltgerechte und humanverträgliche Inhaltsstoffe geachtet werden. Bei Mineralölprodukten sollten aromatenarme (geringe Gehalte an aromatischen Kohlenwasserstoffen) Ölqualitäten eingesetzt werden.
  Aufgrund ihrer Hochdruckfestigkeit wurden bei Tiefziehprozessen auch chlorhaltige KSS (Chlorparaffine als Additiv) eingesetzt. Wegen ihres Umweltgefährdungspotenzials sollten chlorhaltige Schmierstoffe jedoch generell vermieden werden.
- Emissionen durch verdampfende Kühlschmierstoffe treten insbesondere bei hohen Umformgraden auf. Verdampfungsarme KSS-Qualitäten und eine geeignete Absaugung vermeiden Gesundheitsrisiken für die Mitarbeiter.
- Der nach der Umformung am Metall haftende Schmierfilm dient insbesondere bei Eisenwerkstoffen auch als temporärer Korrosionsschutz, der die Werkstücke bis zu mehreren Wochen Lagerzeit bei Lagerung in geschützten Räumen vor korrosivem Angriff schützen soll. Bei der Weiterverarbeitung sowie bei anschließenden Reinigungsprozessen sollte die Chemikalienverträglichkeit der miteinander in Kontakt kommenden Prozessstoffe (z. B. Reinigungsbad) überprüft werden.

Pressen und Tiefzieheinrichtungen werden häufig hydraulisch betrieben. Die Hydrauliköle (Näheres hierzu finden Sie auf den Seiten Metall > Einsatzstoffe > Maschinenöle) werden im Kreislauf gefahren. Um die Maschinenkomponenten zu schonen und zur Erzielung langer Standzeiten (Abfallvermeidung) müssen eingetragene Schmutzpartikel (z. B. Abrieb) ausgefiltert und der Wassergehalt niedrig gehalten werden.

Minimalmengen-Schmierung bei Kaltwalzprozessen

Walzprozesse werden vorwiegend zur Herstellung von Halbzeugen eingesetzt. Diese werden entsprechend ihrer Geometrie in Flach- oder Profilprodukte unterteilt. Neben der Geometrie und der Maßhaltigkeit spielt bei den heutigen Qualitätsanforderungen die Oberflächengüte eine entscheidende Rolle. Bei der Metallverarbeitung über Walzprozesse muss daher sichergestellt werden, dass keine Oberflächenfehler wie z. B. Riefen oder Druckstellen entstehen, keine Kaltanschweißerscheinungen zwischen Werkstoff und Umformwerkzeug (Walze) auftreten und dass die beim Umformprozess entstehende Wärme soweit abgeführt werden kann, dass es nicht zu Qualitätsbeeinträchtigungen kommt. Während bei leichten Umformgraden durch Einsatz hochwertiger, in der Regel beschichteter Werkzeuge oft auf eine Beölung verzichtet werden kann, so ist bei höheren Umformgraden eine Schmierung meist noch unverzichtbar. Insbesondere bei Bunt- und Leichtmetallen ist deren Neigung zu Kaltanschweißungen ein Problem.

Mit Minimalmengen-Schmierung den Ölverbrauch senken

Bei Walzprozessen kommt es in erster Linie auf den gleichmäßigen und prozesssicheren Auftrag einer Schmierstoffschicht über die gesamte Materialbreite an. Bei den heute verwendeten hochwertigen Schmierstoffen ist die Menge von eher untergeordneter Bedeutung. Als Richtwert kann ein Schmierstoffbedarf von 1 – 2 g/m² als in der Regel ausreichend herangezogen werden.

Die zum Auftrag der Schmierstoffe bei Walzprozessen in der Praxis vielfach oft angewendete Form des Auftrags über Filzstreifen, Lappen oder z. B. Tropfenbeöler erfüllt diese Anforderung nur unzureichend und es wird in der Regel eine viel zu große Schmierstoffmenge aufgebracht. Trotz der zumindest bei der Überflutschmierung üblichen Kreislaufführung sind damit erhebliche Kosten und auch Umweltprobleme verbunden. Genauere Informationen, welche Kosten mit dem Kühlschmierstoffeinsatz verbunden sind, finden Sie auf den Seiten Kühlschmierstoff- Gesamtprozess und Kosten. Zu große Ölmengen bedeuten nicht nur hohen Ölverbrauch, sondern häufig auch Qualitätsprobleme. Nach vielen erfolgreichen Anwendungen der Minimalmengen-Schmierung (MMS) bei spanenden Bearbeitungsprozessen wurden verschiedene Systeme an die Anforderungen bei Umformprozessen angepasst bzw. weiterentwickelt. Als Auftragssysteme zur Minimalmengen-Schmierung bei Umformprozessen haben sich insbesondere vier Techniken entwickelt, die je nach Einsatzbereich systemspezifische Vor- und Nachteile aufweisen. Eines haben jedoch alle der nachfolgend kurz beschriebenen Systeme gemeinsam: Im Vergleich zur konventionellen Schmierung können Sie den Schmierstoffverbrauch um bis zu 90 % reduzieren.

Tabelle: Systemvergleich von MMS-Auftragseinrichtungen, die bei Umformprozessen eingesetzt werden können

Systemeigen-schaften	Filzwalzen-beöler	Aufquetsch-beöler	Sprühsysteme	Spuck-systeme
Nutzbare Bandbreite	+ +	+ + +	+ + +	-
Gleichmäßigkeit	+	+ + +	+ +	-
Schmierfilmstärke	+ +	+ + +	+ + +	-
Flexibilität	-	-	+ +	+ + +
Steuerungsmöglichkeiten	-	-	+ +	+ + +
Vernebelung	keine	keine	abhängig von Düsen und Schmierstoff	keine
Absaugung	nicht erforderlich	nicht erforderlich	empfohlen	nicht erf.
Schmierstoffwechsel	nur nach Walzenwechsel	einfach	einfach	einfach
Investitionskosten	sehr gering	gering-mittel	gering - mittel	gering
Betriebskosten	sehr gering	sehr gering	mittel	sehr gering
Wartungsaufwand	mittel	mittel	gering	sehr gering

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Filzwalzenbeöler

Quelle: Fa. Eckardt Umformtechnik, Bretten

Filzwalzenbeöler: Über zwei oder, bei einseitiger Beölung, eine Walze aus Filz wird ein Schmierstofffilm auf das, meist bandförmige, Material aufgetragen. Durch die gute Saugwirkung der festen Wollfilzrollen kann die Schmierstoffversorgung von innen über eine Hohlachse erfolgen. Anwendungsbereich sind insbesondere Bänder oder Bleche, die gewalzt, gebogen oder gestanzt werden sollen. Die Geräte sind für unterschiedlichste Anforderungen verfügbar: Von einfachen Systemen (unter 100 Euro) bis zu Sektorengeräten, mit denen bei großen Bandbreiten (bis zu 3 m) auch verschiedene Sektoren beölt werden können. Eine definierte und reproduzierbare Ölmenge kann mit diesen Geräten jedoch nicht eingestellt werden.

Aufquetschbeöler: Über ein Walzenpaar aus Verteiler- und Quetschwalze kann ein breites Spektrum an Schmierstoffen in sehr dünnen Schichten auf blechförmige Produkte aufgetragen werden.

Funktionsprinzip: Über bewegliche Verteilerwalzen (grau) wird der Schmierstoff auf die Quetschwalze übertragen. Über den Anpressdruck der Quetschwalzen wird die Schichtstärke des Ölfilms eingestellt. Dabei hat die Menge der Ölzufuhr keinen Einfluss auf die aufgetragenen Schichtdicke. Es lassen sich Ölmengen ab ca. 1 g/m² realisieren.

Funktionsprinzip Aufquetschbeöler

Quelle: Fa. Eckardt Umformtechnik, Bretten

Aufquetschbeöler weisen eine große Flexibilität bezüglich der einsetzbaren Schmierstoffe (einzige Voraussetzung Fließfähigkeit) und eine gute Reproduzierbarkeit der aufgetragenen Schmierstoffmenge auf. Mit einer Anlage können ohne Walzenwechsel unterschiedliche Bandbreiten sowie auch Blechabschnitte beölt werden. Im Vergleich zu Filzwalzen sind die Standzeiten der Walzen erheblich höher.

Quetschwalzenbeölungsanlage

Foto: Fa. Eckardt Umformtechnik, Bretten

Sprühsysteme: Die Technologie und die verschiedenen Ausführungen von Sprühsystemen für MMS-Anwendungen wird im Kapitel Spanende Metallbearbeitung/Minimalmengen-Schmierung ausführlich beschrieben. Dies finden Sie auf den Seiten zu den MMS-Auftragssystemen. Generell sind Sprühsysteme auch zum Schmierstoff-Auftrag bei Umformprozessen geeignet. Die Anordnung der Sprühdüsen kann gut an die Beölungsaufgabe und die Geometrie des Werkstückes angepasst werden. Großflächige Anwendungen, wie z. B. bei breiten Bändern werden durch in Reihe angeordnete Düsen beölt. Dabei lassen sich Ölmengen im Bereich von ca. 1 bis 5 g/m² reproduzierbar realisieren. Die am Markt angebotenen Geräte weisen deutliche Unterschiede bezüglich der Einstellmöglichkeiten und der Sprühdüsen auf. Bei offenen Systemen sollten die nicht ganz vermeidbaren Ölnebel (Overspray) abgesaugt werden.

Spucksysteme: Bei Spucksystemen wird ein kleiner Öltropfen auf eine definierte Stelle des umzuformenden Werkstücks oder das Werkzeug dosiert. Flächige Anwendungen lassen sich mit diesem System nicht realisieren. Die Einsatzbereiche liegen bevorzugt bei Anwendungen bei denen kleine Schmierstoffmengen (bis unter 0,01 ml/Impuls) an hoch beanspruchte Stellen eines Umformwerkzeugs oder des Bauteils kontaktlos aufgebracht werden sollen. Dabei sind sehr kurze Taktzeiten realisierbar. Spucksysteme arbeiten punktuell, quasi verlustfrei, berührungslos und erzeugen keine Sprühnebel, d.h. keine Emissionen.

Spucksystem (hier beim Gewindeschneiden)

Quelle: Fa. Steidle, Leverkusen

Trockenschmierstoffe als Alternative

Als Alternative zur Schmierung im Produktionsprozess werden von einigen Halbzeugherstellern bereits mit Schmierstoffen beschichtete Stahlbänder angeboten. Zur Beschichtung werden vorwiegend Trockenschmierstoffe eingesetzt. Neben Systemen auf Molybdänsulfid-Basis (MoS2) werden dazu auch so genannte „Hotmelts“ verwendet. Dies sind Wachse auf Mineralölbasis mit Additiven, die das Umformverhalten bei Stählen verbessern. Der Hotmelt-Auftrag erfolgt durch Aufsprühen im heißen Zustand, teilweise bereits im Halbzeugwerk. Nach dem Abkühlen bildet sich ein sehr dünner, grifffester Film auf der Bandoberfläche, der auch beim Lagern und Handling stabil ist. Beim weiterverarbeitenden Betrieb entfällt damit das gesamte Schmierstoffhandling. Die Anwendungsbereiche sind derzeit überwiegend in der Automobilindustrie und in der Großserienfertigung. Ein Produktbeispiel finden Sie bei der Salzgitter Flachstahl.

Minimalmengen-Schmierung bei der Blechumformung

Die Blechbearbeitung umfasst den größten Bereich bei den umformenden Metallbearbeitungsverfahren und enthält ein sehr großes Spektrum an Verfahren und Anwendungen. Verarbeiteter Werkstoff, Umformgrad, Werkzeug, die verfügbare Werkzeugmaschine und nicht zuletzt die geforderte Oberflächenqualität sind die wesentlichen Einflussfaktoren zur Entscheidung, ob in einem Prozess eine Schmierung erforderlich ist oder gegebenenfalls auch trocken gearbeitet werden kann.

Durch die Relativbewegung zwischen dem bearbeiteten Material bzw. Werkstück und dem Werkzeug in Kombination mit der beim Umformprozess entstehenden Wärme kommt es insbesondere bei Buntmetallen leicht zu Kaltanschweißungen an der Oberfläche. Dies muss sowohl aus Qualitätsgründen als auch zum Erhalt der Werkzeugstandzeit prozesssicher vermieden werden.

Bei geringen Umformgraden ohne besondere Anforderungen an die Werkstückoberfläche kann häufig auf eine Schmierung verzichtet werden. Bei Forderungen nach langen Werkzeugstandzeiten wird dann häufig doch auf Schmierstoffe zurückgegriffen. Dabei ist die Qualität des Werkzeugs und insbesondere der Werkzeugoberfläche von ebenso hoher Bedeutung für deren Standzeit. Mittels CVD- und PVD-Verfahren beschichtete Werkzeuge weisen z. B. erheblich bessere Standzeiten auf und bieten gute Voraussetzungen für die Realisierung der **Trockenbearbeitung** bzw. Minimalmengen-Schmierung (MSS).

Bei den Werkstoffen bestehen bezüglich des möglichen Einsatzes der trockenen Umformung bzw. der Minimalmengen-Schmierung generell keine Einschränkungen. Ausschlaggebend sind insbesondere der Umformgrad und die Beschaffenheit der Werkzeuge, insbesondere auch deren Oberfläche.

Auftragssysteme für Schmierstoffe

Der Grundsatz „So wenig wie möglich, so viel wie nötig“ gilt auch für den Schmierstoffauftrag bei der Blechumformung. Bei der konventionellen Beölung wird in der Regel zu viel Schmierstoff aufgetragen, weil die Auftragssysteme keine genaue Dosierung ermöglichen. Die Folge ist ein (zu) hoher Ölverbrauch (Verlustschmierung) sowie Folgekosten durch die Ölverschleppung einschließlich der damit verbundenen Umweltrisiken. Hinweise, welche Kosten mit dem Kühlschmierstoffeinsatz verbunden sind finden Sie auf den Seiten Kühlschmierstoff-Gesamtprozess und Kosten.

Lässt sich keine wirtschaftliche Trockenumformung realisieren, so kann für den Schmierstoffbedarf bei der Blechumformung ein Richtwert von 1 – 5 g/m² herangezogen werden.

Vorteile durch MMS bei der Blechumformung

Mit MMS-Systemen lassen sich definierte Ölmengen gleichmäßig in sehr dünnen Schichten auf das Material bzw. auf die jeweils zu beölende Stelle aufbringen. Eine Übersicht über die für Umformprozesse in Frage kommenden MMS-Systeme finden Sie auf den Seiten zum MMS-Kaltwalzen. In der Folge befindet sich kein überflüssiger Schmierstoff auf den Bauteilen. Dadurch kann

- der Schmierstoffeinsatz um bis zu 95 % reduziert,
- der Reinigungsaufwand von Werkstücken, Maschinen und Umgebung bis teilweise zur vollständigen Vermeidung von Reinigungs- und Entfettungsprozessen reduziert,
- die Effizienz (verlängerte Werkzeugstandzeiten, verbesserte Qualität, reduzierter Ausschuss) gesteigert,
- die Arbeitsplatzqualität verbessert und
- Entsorgungskosten für ausgeschleppte Schmierstoffe vermieden werden.

Sprühsysteme: Die Technologie und die verschiedenen Ausführungen von Sprühsystemen für MMS-Anwendungen wird im Kapitel Spanende Metallbearbeitung/Minimalmengen-Schmierung (MMS) ausführlich beschrieben. Dies finden Sie im Bereich MMS-Auftragssysteme. Generell sind diese Systeme auch zum Schmierstoff-Auftrag bei der Blechumformung geeignet. Die Sprühdüsen können gut an die Beölungsaufgabe und die Geometrie des Werkstückes angepasst werden. Großflächige Anwendungen, wie z. B. bei breitem Bandmaterial werden durch in Reihe angeordnete Düsen realisiert. Mit gut eingestellten Systemen lassen sich Ölmengen ab ca. 1 g/m² auftragen. Vorteilhaft sind MMS-Sprühsysteme insbesondere dann, wenn dreidimensionale Halbzeuge oder Werkstücke nur sequenziell beölt werden sollen. Durch die guten Steuerungsmöglichkeiten und kurze Ansprechzeiten der Düsen lässt sich ein breites Spektrum an Sprühfeldern realisieren. Die nicht vollständig zu vermeidenden Sprühnebel sollten abgesaugt werden.

Bild: Selektive Blechbeölung mit Sprühsystemen: Schema und praktische Umsetzung

Fotos: Fa. Microjet, Karlsruhe

Vorteile einer selektiven Beölung: Bei vielen Anwendungen der Blechbearbeitung werden nur Teilbereiche des Materials umgeformt, oft auch mit unterschiedlicher Intensität. Dementsprechend ist eine Schmierung vorwiegend an den hoch belasteten Bereichen erforderlich. Durch eine selektive Beölung kann der Schmierstoff genau an den Stellen aufgetragen werden, an denen er benötigt wird. Hier sind MMS-Systeme von Vorteil, da mit ihnen auch Teilbereiche des zu bearbeitenden Vormaterials beölt werden können. Sprühsysteme weisen für diesen Anwendungsbereich die größte Flexibilität auf, da die Düsen einzeln und mit kurzen Reaktionszeiten ansteuerbar sind. Mit Einschränkungen bezüglich der Flexibilität können auch Walzenbeöler eingesetzt werden. Insbesondere bei großflächigen Anwendungen lassen sich so große Mengen an Schmierstoff einsparen.

Trockenschmierstoffe

Eine noch relativ neue Entwicklung sind Trockenschmierstoffe (auch „Hot Melts“ genannt) als Alternative zu Schmierstoffen auf Ölbasis. Die meist pastenförmigen Schmierstoffe auf Molybdänsulfid-Basis (MoS2) können sowohl über Walzensysteme als auch über Sprühsysteme (mit Erwärmung) in sehr dünnen Schichten aufgetragen werden.

Bild: Hot Melt bei Raumtemperatur

Foto: Fa. Eckardt Umformtechnik, Bretten

Praxiserfahrungen/Anwendungsbeispiele: Um die Anwendbarkeit der Trockenschmierstoffe in der Blechumformung an praktischen Beispielen zu erproben und die erzielbaren Vorteile zu demonstrieren wurde ein Verbundprojekt „Neue Schmierstoffanwendungen in der Blechumformung“ von der Effizienz-Agentur NRW in Zusammenarbeit mit dem Industrieverband Blechumformung durchgeführt. Projektinformationen finden Sie in einer Broschüre der Effizienz-Agentur NRW, Anwendungsschwerpunkt war die Serienherstellung von Beschlagteilen aus Aluminium, Messing, Stahl und Edelstahl.

Die Ergebnisse dieses Verbundprojekts lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der Schmiermittelverbrauch konnte um 80 – 90 % reduziert werden
- Die Ausschussquote konnte im Durchschnitt halbiert werden
- Die Produktivität konnte deutlich gesteigert werden (um bis zu 50 %)
- Dem Umformprozess nachgeschaltete Prozesse (weitere Bearbeitung, Entgraten, Reinigen/Entfetten, Oberflächenbehandlung) konnten deutlich optimiert werden.

Bei Folgeverbundprozessen mit hohen Umformgraden (und damit in der Regel hohen Bauteiltemperaturen) war teilweise ein erneuter Auftrag der Trockenschmierstoffe erforderlich. Dies kann insbesondere über Sprühsysteme zielgerichtet auch im Werkzeug erfolgen. Bei hohen Umformtemperaturen können Dämpfe entstehen, die abgesaugt werden sollten.

Weitere Informationen

Kontakte zu einigen Forschungseinrichtungen, die sich mit umweltgerechten Verfahren zur Blechumformung befassen sind nachfolgend aufgeführt:

- Institut für Umformtechnik, Universität Stuttgart
- Institut für Produktionstechnik, Universität Karlsruhe
- Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen, Technische Universität Darmstadt
- Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre, RWTH Aachen
- Institut für Werkstofftechnik, Universität Bremen:
- Lehrstuhl für umformende und umformende und spanende Fertigungstechnik, Universität Paderborn

Minimalmengen-Schmierung bei der Massivumformung

Zur Umformung dickwandiger oder massiver Werkstücke kommen Verfahren wie Hämmern, Rundkneten usw. zum Einsatz. Insbesondere bei der Umformung von Stählen sind bei diesen Verfahren sehr hohe Druckkräfte erforderlich. Der Kontaktbereich Werkstück/Werkzeug unterliegt dadurch einer starken Beanspruchung, sowohl was die mechanische als auch die thermische Belastung anbetrifft. Die bei diesen Umformprozessen eingesetzten Schmierstoffe haben zwei Aufgabenschwerpunkte: Die Reduzierung des Verschleißes durch Ausbildung eines stabilen Schmierfilms und die Abfuhr der beim Umformprozess entstehenden Wärme.

Häufig kommt bei der Massivumformung die Überflutschmierung, in der Regel mit Kühlschmierstoff (KSS)-Ölen, zum Einsatz. In der Folge sind die Bauteile stark ölbehaftet und müssen meist gereinigt werden. Insbesondere bei rohrförmigen Werkstücken ist dies mit einem hohen Aufwand verbunden, ganz abgesehen von dem durch den Austrag entstehenden Schmierölverlusten. Informationen welcher Aufwand, welche Umweltrisiken und welche Kosten mit dem Kühlschmierstoffeinsatz verbunden sind finden Sie auf den Seiten Kühlschmierstoffe-Gesamtprozess und Kosten.

Reduzierung des Schmierstoffeinsatzes

Die einfachste Art gezielt geringere Schmierstoffmengen auf Werkstücke oder ein Werkzeug aufzubringen ist der Auftrag mittels Pinsel oder eines saugfähigen Materials. Bei manuellen Bearbeitungsprozessen mit ausreichend langen Taktzeiten sowie bei der handwerklichen Einzelfertigung eine durchaus sinnvolle Möglichkeit von der Überflutschmierung wegzukommen. Bei automatisierten Fertigungsprozessen und bei steigenden Anforderungen bezüglich Reproduzierbarkeit der Prozessbedingungen sind jedoch hochwertigere Systeme erforderlich. Das Ziel der **Minimalmengen-Schmierung (MMS)** ist die Aufbringung eines dünnen Schmierfilms an die Stellen, wo er benötigt wird. Die MMS ist in der spanenden Metallbearbeitung inzwischen ein eingeführtes Verfahren mit einem breiten Anwendungsspektrum. Die Grundlagen zu dieser Technik finden Sie im Bereich Minimalmengenschmierung. Im Vergleich zu den anderen Umformverfahren liegen bei der Massivumformung noch vergleichsweise wenig Erfahrungen mit dem Einsatz der Minimalmengen-Schmiertechnik vor. Wie das nachfolgende Beispiel zeigt kann die Technik jedoch auch hier mit Erfolg eingesetzt werden. Die Ergebnisse und Erfahrungen lassen sich auch auf andere Bauteilgruppen übertragen. Entsprechende Vorversuche sind jedoch in jedem Fall erforderlich.

Umsetzungsbeispiel: Umformung von dickwandigen Rohren mit Minimalmengen-Schmierung

Ein eingeführtes Verfahren zur Herstellung von rohrförmigen Bauteilen mit Verdickungen, Verjüngungen sowie auch Verzahnungen an den Enden ist das Axialumformen. Typische Produktbeispiele für dieses Umformverfahren sind Antriebswellen, Lenkwellen, Getriebewellen insbesondere für die Automobilindustrie und deren Zulieferer.

Bild: Durch Axialumformung hergestellte Bauteile

Foto: Heinrich Müller Maschinenfabrik, Pforzheim

Dieses Verfahren erfolgt traditionell mit Öl-Überflutschmierung. Bei dem nachfolgend beschriebenen Beispiel wurden Verfahren und Maschinenkonzept auf MMS umgestellt. Allein die Einsparung über den um ca. 95 % reduzierten Ölverbrauch ergab eine Kostenreduzierung von ca. 20.000 €/a. Hinzu kommen noch erhebliche Einsparungen durch die nicht mehr erforderliche Reinigung der Teile sowie ein deutlich reduzierter Reinigungs- und Wartungsaufwand der Maschine sowie der Umgebung.

Anwendungsbeispiel Axialumformen		
Verfahren	Umformen mit hydraulischer HMP-Umformmaschine	
Werkstoff	Stahl: St 52-3	
Werkstücke	Ausgangsmaterial: Rohre Ø 60 x 6 Produkt: Bauteil mit beidseitig verjüngten Enden auf Ø 44 x 7,7 oder Ø 50 x 6,8	
Taktzeit	10 Sec. ; 360 Teile/h	
Schmierung	Öl, Überflutschmierung mit Kreislaufführung	Öl, Minimalmengen-Schmierung
Schmierölverbrauch - pro Tag/3-Schicht	19 Liter	1 Liter
Öleinsparung durch MMS - Liter/Jahr - Euro/Jahr		5.940 l/a ca. 20.000 €/a
Weitere Vorteile durch MMS	▪ stark reduzierter Reinigungsaufwand ▪ geringere Verschmutzung der Maschinenumgebung ▪ geringere Anforderungen an die Maschine bezüglich Boden- und Gewässerschutz (**VAwS**)	

Bild: Hydraulische HMP-Umformmaschine zur Axialumformung von Rohren mit MMS

Foto: Heinrich Müller Maschinenfabrik, Pforzheim

Im oben gezeigten Arbeitsbereich der hydraulischen Umformmaschine ist auf der rechten Seite die Kupferleitung mit den drei MMS-Sprühdüsen zu erkennen. Das Werkstück wird während des Beladevorgangs in die Spannzange dünn beölt. Die Ölmengenge beträgt weniger als 0,1 ml/Werkstück. Auf der linken Seite ist das Außenwerkzeug (Umformmatrize) zu sehen, aus der das Innenwerkzeug (Umformdorn) herausragt.

Weitere Informationen

Kontakte zu einigen Forschungseinrichtungen, die sich mit umweltgerechten Verfahren der Massivumformung befassen sind nachfolgend aufgeführt:

- Institut für Umformtechnik, Universität Stuttgart
- Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen, Technische Universität Darmstadt
- Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre, RWTH Aachen
- Lehrstuhl für umformende und spanende Fertigungstechnik, Universität Paderborn

Verfahren zur Warmumformung von Metallen

Prozesse zur spanlosen Formgebung werden zur Verbesserung des Umformverhaltens insbesondere bei Eisenmetall- und höher schmelzenden Werkstoffen in "erwärmtem Zustand" durchgeführt. Bei Eisen- und Stahlwerkstoffen liegt der Temperaturbereich zwischen ca. 500 und 1.100 °C, bei Buntmetallen deutlich niedriger.

Quelle: Edelstahl Rosswag GmbH

Wesentliche Bearbeitungsprozesse, die auch in mittelständischen Betrieben zur Anwendung kommen sind

- Schmieden (Gesenk- und Freiformschmieden)
- Warmfließpressen

Vorwiegend in der Großindustrie, meist im Zusammenhang mit Stahlwerken, wird das

- Warmwalzen

zur großtechnischen Herstellung von Vormaterialien und Halbzeugen eingesetzt.

Anlagen zum Warmwalzen von Stahl sind generell genehmigungsbedürftige Anlagen nach **BImSchG**. Je nach Leistung sind sie der Spalte 1 oder 2 der Nr. 3.6 der 4. **BImSchV** zugeordnet. Sie unterliegen auch dem Umwelthaftungsgesetz. Da sie primär in der Großindustrie eingesetzt werden, kann auf ihre spezifischen Umweltaspekte hier nicht detailliert eingegangen werden. Bei Anlagen zum Warmwalzen von anderen Metallen ist zu prüfen, inwieweit eine Genehmigungsbedürftigkeit nach der 4. BImSchV vorliegt (bei Schwermetallen > 1 t/h; bei Leichtmetallen > 0,5 t/h).

Schmiedeanlagen können ebenfalls genehmigungsbedürftig nach der 4. BImSchV sein. Dies ist der Fall, wenn ein oder mehrere Hämmer oder Fallwerke vorhanden sind und die Schlagenergie 1 KJ (Kilojoule) oder mehr beträgt. Nach der Nr. 3.11 der 4. BImSchV handelt es sich bis zu 50 KJ um eine Anlage nach Spalte 2, bei höherer Schlagenergie ist die Anlage der Spalte 1 zuzuordnen.

Umweltaspekte bei der Warmumformung von Metallen

Je nach Werkstoff und Temperaturniveau müssen Anlagenteile und Materialien gekühlt werden. Dabei kommt das Kühlwasser häufig mit Schmierstoffen von Anlagenkomponenten (Lager, Führungen) sowie ggf. mit abplatzenden Oxidschichten (Zunder) zusammen. Für Warmumformvorgänge bei Temperaturen oberhalb 500 °C sind organische Stoffe als Schmiermittel nicht mehr ohne Zersetzung einsetzbar. Bei der Zersetzung entstehen gesundheitsschädliche **Emissionen**, die zuverlässig abgesaugt werden müssen. Je nach Art der Emissionen ist ggf. eine Abgasbehandlung erforderlich.

Abfälle resultieren vorwiegend aus dem Kühlwasserkreislauf (Schlämme aus der Kühlwasserpflege, Abwasserbehandlungsschlämme) sowie aus bei der Warmumformung abplatzenden Oberflächenschichten (Zunder), der in der Regel verwertet werden kann.

Schmiede- und Warmwalzprozesse

Schmieden und Walzen sind traditionelle Umformverfahren, bei denen erwärmte Metallrohlinge durch das Aufbringen von hohen Druckkräften in die gewünschte Form gebracht werden. Das Aufheizen auf Temperaturen deutlich unterhalb des Schmelzpunktes ist zwar energieaufwändig, ermöglicht aber bei stark reduzierter Kraftaufbringung eine Formgebung ohne dass sich der Werkstoff dabei verfestigt und zur Rissbildung neigt.

Foto: Freiformschmieden eines Ringes

Quelle: Edelstahl Rosswag

Beim Schmieden wird im Wesentlichen zwischen Gesenk- und Freiformschmieden unterschieden. Beim Gesenkschmieden wird der erhitzte Metallrohling in einer Schmiedepresse in eine vorgegebene Form (Gesenk) gepresst. Zur Vermeidung von Anschweißungen muss die Form mit einem Schmierstoff oder Trennmittel behandelt werden. Beim Freiformschmieden wird der Rohling durch (mehrmalige) Kraftaufbringung über Pressen oder Hämmer in die gewünschte Form gebracht. Dies erfolgt in der Regel hilfsmittelfrei.

Mittels Warmwalzprozessen wird Stangen- oder Bandmaterial von starken Abmessungen auf die gewünschte Enddicke heruntergewalzt. Dies erfolgt in der Regel in mehreren Stichen (Teilschritte). Zur Verhinderung von Adhäsionsprozessen müssen in der Regel Schmierstoffe eingesetzt werden.

Für Warmumformvorgänge bei Temperaturen oberhalb 500 °C sind organische Stoffe als Schmiermittel nicht mehr ohne Zersetzung einsetzbar. In solchen Fällen (z. B. beim Gesenkschmieden) nutzt man die Trennfähigkeit des bei der Zersetzung entstehenden Kohlenstoffs aus. Alternativ arbeitet man mit Graphit oder auch Molybdänsulfid in Pulverform oder als wässrige bindemittelhaltige Suspension. Bei niedrigeren Temperaturen werden auch Wachse oder Fettöle eingesetzt. Entstehende Dämpfe können gesundheitsgefährdend sein und müssen abgesaugt werden.

Werkzeuge, Umformanlagen sowie teilweise auch Handling- und Transporteinrichtungen müssen meist gekühlt werden. Die Kühlflüssigkeit (Wasser mit korrosionshemmenden Zusätzen oder auch Emulsionen) sollte nach Möglichkeit im Kreislauf gefahren werden. Vielfach lassen sich Verluste und auch Vermischungen mit Ölen nicht vermeiden. Teilweise wird das Kühlmittel auch zum Abspülen des abgeplatzten Zunders verwendet. In einem Auffangbehälter (Sedimentationsbehälter) werden die Feststoffanteile dann als Walzzunderschlamm separiert. Verunreinigungen mit Ölen sollten dabei nach Möglichkeit minimiert werden, da diese die Verwertungsmöglichkeiten verschlechtern.

Aus Schmiede- und Warmwalzanlagen können insbesondere folgende Abfallarten resultieren (Zuordnung entsprechend dem Herkunftsbereich):

- Walzzunder (**AVV** 10 02 10)
- Walzzunder mit hohen Ölgehalten (AVV 12 01 18*)

- ölhaltige Abfälle aus der Kühlwasserbehandlung (AVV 10 02 11*; 10 02 12 und bei Umformprozessen von NE-Metallen 10 06 09*, 10 06 10; 10 07 07*, 10 07 08; 10 08 19*, 10 08 20)

Verwertungsmöglichkeiten für Walzzunder

Walzzunder besteht vorwiegend aus oxidiertem Metall und ist meist mit Schmierstoffanteilen, Kühlflüssigkeiten und anderen prozessbedingten Stoffen verunreinigt. Durch den hohen Metallgehalt können Walzzunder oder Walzzunderschlämme in der Sekundärmetallurgie verwertet werden. Geeignet sind metallurgische Prozesse, wie z. B. Hochöfen, die unter reduzierenden Bedingungen arbeiten. Hohe Ölgehalte schränken die Verwertungsmöglichkeit stark ein, bzw. erfordern einen vorgeschalteten Entölungsprozess und sollten daher vermieden werden.

Reinigen und Entfetten

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Metallische Werkstücke sind durch vorgeschaltete Bearbeitungsprozesse meist mit Fetten, Ölen, Spänen oder Korrosionsprodukten verunreinigt. Beim Transport von Halbfertigteilen werden diese zudem oft aus Korrosionsschutzgründen mit Sprühölen behandelt.

Bei allen Beschichtungsverfahren wie Lackieren, Galvanisieren oder Feuerverzinken muss die Oberfläche frei von Rost, Schmutz, Fetten und Ölen sein. Neben dem Reinigen sind z. B. beim Lackieren oder Galvanisieren weitere Vorbehandlungsschritte wie Beizen, Phosphatieren oder Passivieren erforderlich.

Bei der industriellen Reinigung und Entfettung von Metalloberflächen werden hauptsächlich drei Reinigungsmedien verwendet:

- Wässrige Reinigungssysteme
- Nichthalogenierte organische Lösemittel (**nHKW**)
- Chlorierte Kohlenwasserstoffe (**CKW**)

In Sonderbereichen werden auch die Plasmareinigung und die Reinigung mittels Laserstrahl angewandt.

Die Reinigung mit chlorierten Kohlenwasserstoffen wird heute aus Arbeits- und Umweltschutzgründen (Einsatzbeschränkungen) nur noch in Spezialfällen bei besonders starker Verschmutzung (z. B. verharzte Fette), oder sehr hohen Reinheitsanforderungen angewandt. Die wässrige Reinigung weist Vorteile im Bereich des Arbeitschutzes auf und ist auch wegen der geringen Emissionen inzwischen weit verbreitet. Die wässrige Reinigung hat aber gegenüber der Reinigung mit nichthalogenierten Kohlenwasserstoffen auch Nachteile, insbesondere hinsichtlich des Energieaufwands beim Trocknen und den teilweise nicht unerheblichen Anforderungen an die Abwasserreinigung.

Die Bezirksregierung Arnsberg hat für die Anlagenbetreiber in übersichtlichen Tabellen - geordnet nach Verfahren - zusammengestellt, welche luftseitigen Emissionen zu erwarten sind und welche gesetzlichen Anforderungen zur Lufteinhaltung gestellt werden www.bezreg-arnsberg.nrw.de/dieBezirksregierung/aufbau/abteilungen/abteilung5/dezernat53/emissionsrelevanz/index.html. Sie bietet Ihnen die Möglichkeit, Ihre Erfahrungen mitzuteilen und dadurch beizutragen, dass diese Arbeitsgrundlage regelmäßig vervollständigt und fortgeschrieben werden kann (Adresse: Werner Baumann, E-Mail: werner.baumann@bezreg-arnsberg.nrw.de, Tel. 0231/5415-468).

Auswahlkriterien für unterschiedliche Reinigungssysteme

Für die Auswahl eines Reinigungssystems sind neben den wirtschaftlichen Aspekten vorrangig folgende Faktoren von Bedeutung:

- Art der Verunreinigung
- Material und Form des zu reinigenden Werkstücks
- Qualitätsanforderungen aus den nachfolgenden Bearbeitungsschritten
- Technik der Reinigung, bzw. vorhandene Reinigungsanlage

Generelle Angaben zur Auswahl von Reinigungssystemen sind nicht möglich. Die Entscheidung für ein Reinigungssystem hängt jeweils von den spezifischen Vorgaben ab. Bei hohen Qualitätsanforderungen an die Reinigung, z. B. bei galvanischen Prozessen, sind Vorversuche erforderlich, um Fehlentscheidungen zu vermeiden.

Eignung unterschiedlicher Reinigungssysteme

Organische Lösemittel lösen naturgemäß Fette und Öle besser als Wasser, während Wasser Salze am Besten löst. Die bedeutet jedoch nicht, dass wässrige Reinigungssysteme für organische Verschmutzungen nicht geeignet sind. Durch geeignete Reinigungschemikalien, mechanische Unterstützung (z.B. Druckfluten, Ultraschallunterstützung) und eine erhöhte Badtemperatur lassen sich diese Nachteile wettmachen.

Grafik: Reinigungswirkung für unterschiedliche Verschmutzungen

Verschmutzung	Beispiel	Wässrig	nHKW-Lösemittel	CKW-Lösemittel
organisch, unpolar	Öle, Fette	mäßig	gut - sehr gut	sehr gut
organisch, polar	Kolophonium	mäßig	mäßig - gut	mäßig - gut
anorg., polar	Salze	sehr gut	mäßig - gut	wenig
anorg., unpolar	Späne, Pigmente	gut	mäßig - gut	mäßig

Quelle: H. Daiber, FSU-Jena

In der nachfolgen Tabelle sind mechanischen Unterstützungssysteme für die einzelnen Reinigungsmedien zusammengestellt.

Grafik: Wirkung der mechanischen Unterstützung;
Spritzen mit nHKW nur unter Ex-Schutz möglich

	Ultraschall	Druckfluten	Spritzen
Wässrig	++	++	++/+
nHKW	-	+	+
CKW	+	+	+

Quelle: H. Daiber, FSU-Jena

Die folgende Tabelle gibt Information über den Trocknungsaufwand und die erforderlichen Maßnahmen zur Emissionsminderung.

Grafik: Trocknungsaufwand und Aufwand zur Emissionsminderung

	Trocknungsaufwand	Emissionsminderung
Wässrig	mittel: Warmluft Zwangskonvektion Vakuum	nicht notwendig
nHKW	aufwändig: Warmluft Zwangskonvektion Vakuum	Kondensation Adsorption Absorption
CKW	sehr einfach: Warmluft Freie Konvektion Vakuum	Kondensation Adsorption Absorption

Quelle: H. Daiber, FSU-Jena

Allgemeine Auswahlkriterien

- Metalle können grundsätzlich mit allen Reinigungssystemen gereinigt werden, da sie lösemittelresistent sind.
- Organische Lösemittel, insbesondere halogenierte, lösen hartnäckige Verschmutzungen, insbesondere Fette, besser als wässrige Systeme.
- Halogenierte Lösemittel (**CKW**) werden wegen der hohen Gesundheits- und Umweltgefährdung und der hohen technischen Anforderungen (gekapselte Anlagen) in der Regel nur dann eingesetzt, wenn die anderen Alternativen das Reinigungsproblem nicht lösen können.
- Die Abwägung zwischen halogenfreien Lösemitteln und wässrigen Systemen ist weit schwieriger. Aus Umwelt- und wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist eine Abwägung zwischen dem Aufwand zur Luftreinhaltung und der Abwasserreinigung sowie dem in der Regel höheren Energieaufwand bei wässrigen Systemen (Heißentfettung, Teiletrocknung) erforderlich.
- Wässrige Systeme haben sich in den vergangen 10 Jahren in allen Anwendungsbereichen etabliert, insbesondere aus Arbeitsschutzgründen und weil sie zumindest vordergründig als die umweltfreundlichere Alternative gelten.
- Lösemittel (z.B. Waschbenzin oder Kaltreiniger) werden nach wie vor oft zur manuellen Teilereinigung im handwerklichen oder kleinindustriellen Bereich eingesetzt, da sie weniger apparativen Aufwand erfordern und zuverlässig wirken. Ab einem Lösemittelverbrauch von 1 t/a sind die Vorgaben der **31. BImSchV** (Lösemittelverordnung) zu beachten.
- Im Lackierbereich werden zur Reinigung von Werkzeugen, Spritzpistolen und Leitungen oft Nitroverdünner eingesetzt.

Hinweise zur Entlastung der Umwelt

Hinsichtlich der Verringerung der Umweltauswirkungen sollten Sie sich bei jeder Reinigungsaufgabe die folgenden Fragen stellen:

- **Muss überhaupt gereinigt werden?** Zwischen mechanischen Bearbeitungsschritten kann oft auf Entfettungsvorgänge verzichtet werden. Eine Verkürzung der Lagerzeit zwischen Bearbeitungsschritten oder eine staubfreie Lagerung vermindert die Verschmutzung von Teilen. Sprechen Sie mit ihrem Kunden, ob bei Zulieferteilen auf einen Korrosionsschutz mit Ölen verzichtet werden kann.

- **Wie hoch ist der Mindestreinigungsgrad?** Der Mindestreinigungsgrad ergibt sich aus den Anforderungen des Folgeschrittes. Die mechanische Weiterverarbeitung stellt geringere Reinigungsanforderungen als Oberflächenbehandlungsverfahren, z. B. eine Lackierung. Bei unterschiedlichen Anforderungen an die Reinigung von Teilen können Reinigungsklassen gebildet werden, die dann jeweils separat behandelt werden.
- **Kann auf reinigungsfreie Verfahren umgestellt werden?** Durch Umstellung der nachgeschalteten Weiterverarbeitung können Reinigungsvorgänge überflüssig gemacht werden. Beim Verbinden von Teilen durch Kleben ist eine Reinigung zwingend erforderlich nicht jedoch beim Nieten oder Schrauben. Beim Löten kann auf Spezialflussmittel umgestellt werden, die keine Reinigung erfordern.
- Prüfen Sie in jeden Fall, ob ihre Reinigungsaufgabe mit wässrigen Systemen vorgenommen werden kann.

Wässrige Reinigungssysteme

Für Reinigungsaufgaben in der Oberflächentechnik werden heute bevorzugt wässrige Reinigungssysteme eingesetzt. Wässrige Reinigungssysteme können heute nahezu alle Reinigungsaufgaben erfüllen. Sie sind allerdings nicht so universell einsetzbar wie organische Lösemittel und müssen daher auf den spezifischen Prozess abgestimmt werden. Dies betrifft die Anlagentechnik und die Reinigungschemie. In der Regel sind Vorversuche erforderlich um eine zuverlässige Abstimmung von Reinigungschemikalien und Verfahrenstechnik zu gewährleisten. Aus verfahrenstechnischer Sicht ergeben sich eine Reihe von Möglichkeiten, um den Verbrauch an Reinigungsmitteln und Wasser zu reduzieren sowie die Reinigungswirkung zu verbessern. Mit diesen Maßnahmen wird auch der Aufwand bei der Abwasserbehandlung verringert.

Zur besseren Ausnutzung der Chemikalien und zu Verringerung des Wasserverbrauchs werden Reinigungs- und Spülbäder in Kaskadenführung angeordnet. Die Waschflüssigkeit und die Spülbäder werden gegen den Warenfluss zurückgeführt. Durch Filter- und andere Reinigungstechniken können Verunreinigungen aus den Bädern entfernt werden. Die VE-Spüle (VE, vollentsalztes Wasser) wird oft zur Schlussreinigung eingesetzt, um Kalkablagerungen (Fleckenbildung) auf dem Werkstück zu vermeiden.

Grafik: Schematische Darstellung der Verfahrensstufen beim wässrigen Reinigen mit Kaskadenspülung

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Die Reinigungswirkung und die Standzeiten der Prozessbäder lassen sich durch die folgenden Maßnahmen verbessern:

Verminderung der Badverschleppung

- Die Gestelle an denen die Werkstücke aufgehängt werden sind so zu gestalten, dass die Reinigungsflüssigkeit schnell und gut ablaufen kann: keine schöpfenden Teile, Rohre schräg stellen, damit sie auslaufen können, ...
- Werkstücke sollten konstruktiv möglichst wenige schöpfende Bereiche enthalten. Ersetzen Sie beispielsweise Sacklöcher durch Durchgangsbohrungen. Damit werden Ausschleppungen aus den Reinigungs- und Spülbädern verringert und die Reinigungswirkung wird verbessert.

Weitere Informationen zur Spültechnik und zur Minderung von Ausschleppungen sind im Bereich Galvanik verfügbar (Metall > Galvanotechnik > Produktionsverfahren > Spülverfahren und Metall > Galvanotechnik > Einsatzstoffe > Ausschleppung).

Minderung des Schmutzeintrags

- An den Werkstücken sollten möglichst wenig Verunreinigungen aus den vorgelagerten Verarbeitungsschritten anhaften. Durch den sparsamen Einsatz von Hilfsstoffen (Ziehfette, Schneidöle) oder die trockene mechanische Bearbeitung von Metallen sowie die Minimalmengen-Schmierung können anhaftende Fette und Öle deutlich reduziert werden
- Durch eine einfache mechanische Vorreinigung kann eine deutliche Vereinfachung der Reinigungsaufgabe bewirkt werden. Flüssige Verunreinigungen (z. B. KSS) können durch Abtropfeinrichtung teilweise entfernt werden. Grobe Verunreinigungen können durch Abspachteln oder Abbürsten reduziert werden. Weitere Möglichkeiten ergeben sich durch Abblasen, Abspritzen, Rütteln oder Abschleudern (z. B. Späne)

Bessere Ausnutzung der Prozessbäder

- Bei größeren Durchsätzen, insbesondere bei der Serienfertigung empfiehlt sich eine Mehrfachnutzung von Reinigungsbädern, Spül- und Waschzonen sollten in Kaskadenführung betrieben werden.
- Bei Kaskadensystemen ist auf ausreichende Abtropfzeiten zu achten um Verschleppungen ins Folgebad zu vermindern. Teile können zusätzlich gerüttelt oder abgeblasen werden.

Badpflege zur Verlängerung der Standzeit

- Bei nicht emulgierenden Systemen können aufschwimmende Öle aus dem Bad entfernt werden (z. B. durch Skimmer).
- Feststoffe können durch einfache Filtration oder Sedimentationseinrichtungen aus dem Bad entfernt werden.
- Emulgierte Öle können durch Ultrafiltration entfernt werden. Hierzu ist jedoch eine Abstimmung der Membrantechnik auf die Reinigungschemikalien und die Verschmutzungen erforderlich.

Weitere Informationen zur Vermeidung von Stoffverlusten finden Sie auf der Seite Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Reinigung > Wässrige Reinigung > Abfallstoffe.

Biologische Reinigungssysteme

Unter einer biologischen Entfettung versteht man ein wässriges Reinigungssystem, in dem die eingetragenen Öle und Fette kontinuierlich durch biologischen Abbau aus dem System eliminiert werden. Biologische Entfettungslösungen bestehen aus mild alkalisch emulgierenden Reinigern. Natürliche Mikroorganismen bauen die eingetragenen Öle und Fette über ihren Stoffwechsel ab und halten damit den Öl- und Fettgehalt auf einem konstant niedrigen Niveau. Dem Reiniger werden keine speziellen Biokulturen zugegeben, es reichen die natürlich eingeschleppten Mikroorganismen.

Es muss jedoch dafür gesorgt werden, dass die Lebensbedingungen der Mikroorganismen optimiert werden (z. B. Temperatur und pH-Wert). Weiterhin ist darauf zu achten, dass aus den Vorstufen keine für die Mikroorganismen giftigen Stoffe, wie z. B. Fungizide aus den KSS, eingeschleppt werden. Eingebrachte feste Verunreinigungen und abgestorbene Biomasse werden mechanisch ausgetragen. Feststoffe können z. B. durch eine parallel geschaltete Abscheideanlage (Lamellenklärer) entfernt werden. Der zudem anfallende Dünnschlamm (abgestorbene Mikroorganismen und Feinstoffe) ist vom Mengenaufkommen deutlich geringer als das Schlammaufkommen, das bei der **Entsorgung** eines konventionellen Entfettungsbades zu erwarten ist. Dazu kommt, dass die Standzeiten biologischer Entfettungsbäder deutlich über denen konventioneller Entfettungsbäder liegen. Die biologische Entfettung wird bereits industriell eingesetzt, ist aber derzeit noch nicht weit verbreitet. Einen Übersichtsartikel zu biologischen Entfettungs- und Entrostungsverfahren von Prof. Kunz finden Sie in der Zeitschrift Biospektrum.

Reinigen mit nicht halogenierten organischen Lösemitteln

Nichthalogenierte Lösemittel sind bedeutend umweltfreundlicher und weniger gesundheitsschädlich als chlorierte Lösemittel. Sie lösen Fette besser als wässrige Reiniger. Allerdings sind organische Lösemittel wegen ihrer ozonschädigenden Wirkung strenger reglementiert als wässrige Reiniger (31. BImSchV). Bei Reinigungsanlagen sind ab einem jährlichen Lösemittelverbrauch von 1 t besondere Anforderungen zu erfüllen.

Bild: Innenleben einer Lösemittel-Reinigungsanlage

Quelle: Karl Roll GmbH & Co KG, Mühlacker

Größere Anlagen werden deshalb meist geschlossen und mit integrierter Abluftreinigung ausgeführt. Mit Vakuumreinigungsanlagen, in denen der Dampfdruck des Lösemittels deutlich reduziert ist, besteht ein wesentlich geringeres Explosionsrisiko. Prüfen Sie bei Lösemittelanlagen über eine Lösemittelbilanz, ob die 31. BImSchV (Lösemittelverordnung) angewandt werden muss. Beachten Sie die Vorgaben des Explosions- und Brandschutzes sowie die die Einhaltung der zulässigen Arbeitsplatzgrenzwerte, **AGW**-Werte. Bei offenen Anlagen ist in der Regel eine Absaugung erforderlich.

Neben den verfahrenstechnischen Maßnahmen, wie sie bereits bei den wässrigen Reinigungssystemen beschrieben wurden, sind hier weitere Ansätze zur Verminderung der Umweltbelastung sinnvoll:
Mehrfachnutzung des Lösemittels. Bei der manuellen Reinigung wird teilweise noch mit offenen Lösemittelbädern gearbeitet. Hier können durch Kreislaufführung sowohl der Verbrauch, als auch die Verdunstungsverluste reduziert werden.

- **Verschmutzte Lösemittel** können teilweise noch zur Vorreinigung stark verunreigter Teile verwendet werden.
- **Einsatz von Vakuumreinigungsanlagen**. Diese Anlagen sind zwar teurer als offene Systeme, vermindern jedoch den Verdunstungsverlust erheblich. Zudem werden mit diesen Anlagen die AGW-Grenzwerte und die Vorgaben der Lösemittelrichtline einfacher erfüllt. Eine Wirtschaftlichkeitsrechnung, bei der die zusätzlichen Kosten für die Abluftreinigung bei offenen Systemen mit einbezogen werden, bietet Entscheidungsmöglichkeiten zur Kostenoptimierung.

- **Einsatz geschlossener Systeme mit Kondensationsstufe**. Geschlossene Systeme haben zur Reinigung der Abluft Aktivkohlefilter, aus denen das Lösemittel in der Regel nicht zurück gewonnen wird. Insbesondere bei höher siedenden Lösemitteln oder bei warmen Bädern kann durch eine vorgeschaltete Kondensationsstufe der Verdunstungsverlust deutlich reduziert werden, indem das Lösemittel aus der Kondensation direkt ins Prozessbad zurückgeführt wird.
- Verbrauchte Lösemittel können durch Redestillation wiederaufbereitet werden. Weitere Details sind der Seite Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Reinigung > Nichthalogenierte Lösemittel > Entsorgung zu entnehmen.

Weitere Hinweise zur Verminderung der Umweltbelastungen erhalten Sie auf der Seite Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > reinigung > Nichthalogenierte Lösemittel > Vermeidung.

Reinigen mit halogenierten organischen Lösemitteln

Quelle: Gefahrstoffverordnung

Chlorierte Kohlenwasserstoffe (**CKW**) wurden wegen ihrer guten und universellen Reinigungswirkung, der schnellen Trocknung sowie ihrer Unbrennbarkeit (schwer entflammbar) in der Vergangenheit in großem Umfang für die Entfettung eingesetzt. Aufgrund der Einstufung bestimmter CKW in die Liste der potenziell krebserregenden Stoffe, wegen ihres **wassergefährdenden** Potenzials und der Emissionen in die Atmosphäre wurde ihr Einsatz stark reglementiert (2. **BImSchV**). Der Einsatz der folgenden CKW ist derzeit noch gesetzlich erlaubt.

- - Dichlormethan
- - Trichlorethen
- - Tetrachlorethen

Der Einsatz von 1.1.1 – Trichlorethan und fluorierter Lösemittel ist aufgrund ihres ozonschädigenden Potenzials verboten.

Auf Grund der hohen Umweltanforderungen werden CKW-Reinigungsanlagen nur noch als gekapselte Systeme mit integrierter Abluftbehandlung angeboten.

Die Luftreinigung erfolgt über Filter mit Aktivkohle oder Adsorberharzen. Die beladenen Filter werden durch Heißluft desorbiert. Die Anlagen arbeiten somit abluftfrei. Die Be- und Entladeschleuse wird mit einer Lösemittelkonzentrationsmessung überwacht und nur bei Werten unter 1 g/m³ freigegeben.

Bei CKW Anlagen muss eine Verschleppung des Reinigungsmittels in nachfolgende (wässrige) Spül-, Reinigungs-, und Prozessbäder verhindert werden, um Probleme bei der Abwasserbehandlung auszuschließen.

Die verfahrentechnischen Maßnahmen zur Verminderung von Umweltbelastungen entsprechen denen bei nicht halogenierten Systemen.

Niederdruckplasmareinigung

Bei Plasmareinigungsverfahren werden organische Verschmutzungen durch ionisierte Gase in gasförmige Reaktionsprodukte umgesetzt und dadurch von der Oberfläche entfernt. Es lassen sich mit dieser Technologie nur organische Verschmutzungen entfernen. Voraussetzung ist also, dass sich keine anorganischen Substanzen wie Späne oder Salze auf der Werkstückoberfläche befinden.

Weiterhin sollten die Werkstück soweit vorgereinigt sein, dass die organische Schmutzschicht weitgehend homogen verteilt und nur wenige Mikrometer stark ist. Niederdruckplasmaverfahren werden oft in Kombination mit konventionellen Reinigungsverfahren angewandt.

Quelle: Diener electronic GmbH + Co. KG, Nagold

Die Niederdruck-Plasmareinigungstechnik wird z. B. bei tiefgezogenen und gestanzten Werkstücken angewandt, die durch Ziehfette verunreinigt sind. Das Verfahren ist technisch ausgereift und wird sowohl für Kleinanwendungen als auch in großtechnischen Anlagen mit mehreren Tonnen Durchsatz pro Stunde eingesetzt.

Für die Oberflächenreinigung werden kalte Niederdruckplasmen (Temperaturen von 20 – 120 °C) eingesetzt. Diese werden durch Anlegen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (in Mega- bis Gigahertzbereich) aus Prozessgasen in einer Vakuumprozesskammer bei Drücken von ca. 0,01 bis 0,54 mbar erzeugt. Als Prozessgase werden überwiegend umweltneutrale Gase wie z. B. Sauerstoff, Stickstoff, Argon, Helium oder Wasserstoff oder Mischungen aus diesen genutzt. Das Verfahren ist weitgehend abfallfrei, erfordert aber einen vergleichsweise hohen Energieaufwand. Es werden auschließlich die zu CO2 zersetzten organischen Verschmutzungen emittiert.

Reinigen mittels Laserstrahl

Ein, zumindest für industrielle Anwendungsbereiche, noch relativ neues Verfahren ist die Oberflächenreinigung mittels Laserstrahlung. Gegenüber den konventionellen Reinigungsverfahren weist die Laserstrahltechnik ökologische Vorteile auf, da auf Hilfsstoffe vollständig verzichtet werden kann und somit auch fast keine Abfälle anfallen (nur Filter aus der Absaugeinheit). Je nach Anwendungsbereich liegt auch der Energieeinsatz eher unter dem der konventionellen Verfahren. Die Verfahrensentwicklung wurde durch die DBU Deutsche Bundesstiftung Umwelt gefördert. Eine Projektkurzbeschreibung finden Sie auf der Homepage der DBU.

Grafik: Funktionsprinzip der Laserreinigung

Quelle: Fa. Clean-Lasersysteme, Herzogenrath

Das Laser-Verfahren: Durch leistungsstarke, aber kurze Laserimpulse werden die Öl- oder auch Deckschichten durch Verdampfen entfernt. Durch eine für den Werkstoff optimale Einstellung der Laserparameter kann dabei sicher gestellt werden, dass metallische Oberflächen nicht beschädigt oder angeschmolzen werden. Entfernt werden können insbesondere organische Verunreinigungen bis zu Schichtdicken von ca. 200 µm (z. B. Öle, Fette usw.), aber auch leichte Korrosionsschichten. Die Entfernbarkeit von anorganischen Verunreinigungen muss im Vorfeld geprüft werden. Die durch die Laserbestrahlung entstehenden Dämpfe müssen abgesaugt und in einer geeigneten Filtereinheit abgeschieden werden. Eine Absaugeinrichtung ist üblicherweise in den Reinigungskopf integriert.

Bild: Entfernung von Ölrückständen von einem Drehteil (mit Absaugung)

Quelle: Fa. Clean-Lasersysteme, Herzogenrath

Umweltaspekte
Insbesondere dadurch, dass bei der Laser-Reinigung keine Hilfsstoffe eingesetzt werden weist das Verfahren ökologische Vorteile auf:

- Kein Chemikalieneinsatz,
- bis auf die Filter keine Abfälle
- keine Verschmutzung der Umgebung
- geringer Energiebedarf, insbesondere wenn nur partielle Flächen gereinigt werden müssen

Wie schon erwähnt müssen die entstehenden Dämpfe abgesaugt und über einen geeigneten Filter abgereinigt werden.

Anwendungsbereiche
Technologische Vorteile weist die Laser-Reinigung insbesondere dann auf, wenn bei großen Bauteilen nur partielle Stellen gereinigt werden müssen (z. B. Schweißnähte, zu verklebende Stellen) und wenn die Verunreinigung nicht zu dickschichtig ist. Es sind stationäre als auch mobile Anlagen verfügbar. Die Anwendungsbereiche auf dem Sektor der Metallbearbeitung erstrecken sich auf die

- Reinigung von metallischen Oberflächen von Ölen, Fetten, Kühlschmierstoffen,
- Entfernung von Beschichtungen und Lacken,
- Entfernung von Oxidschichten,
- Vorbehandlung vor Schweiß- und Lötprozessen,
- Vorbehandlung vor Klebe- und Beschichtungsprozessen,
- Strukturieren von metallischen Oberflächen.

Mit der Laser-Reinigung können auch Kunststoffe und mineralische Oberflächen gereinigt und vorbehandelt werden. Die Grenzen des Verfahrens liegen insbesondere bei Bauteilgeometrien, bei denen die zu reinigende Oberfläche nicht direkt mit dem Laserstrahl erreichbar ist (z. B. enge Löcher, Hinterschneidungen usw.). Ebenso können feste Partikel wie z. B. feine Späne nicht entfernt werden.

Oberflächen(vor)behandlung

In diesem Bereich werden unterschiedliche Verfahren zur Behandlung von Oberflächen und, wie im Fall der Wärmebehandlung, zur Verbesserung der Materialeigenschaften beschrieben. Meist handelt es sich hier um Verfahren, die einem Beschichtungsprozess (z. B. Lackieren oder Galvanisieren) vorangehen.

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Beizen und Brünieren sind in vielen Fällen Vorstufen der elektrolytischen Beschichtung, Phosphatieren und Passivieren sind oft der Lackierung vorgeschaltet. Das Strahlen dient der Entfernung von groben Verschmutzungen, dem Entrosten oder Entlacken. Das Schleifen kann sowohl ein eigenständiger Bearbeitungspozess sein, z. B. um die gewünschte Maßhaltigkeit zu gewährleisten, oder eine Vorbehandlung, um eine geforderte Oberflächenqualität sicher zu stellen. Mit dem Härten und Wärmebehandeln werden die Materialeigenschaften von Metallen, z. B. die Oberflächenhärte oder die Zähigkeit, beeinflusst.

Schleifen und Gleitschleifen

Beim (**Reinigungs-) Schleifen** werden anhaftende Verunreinigungen (z. B. Lack, Zunder, Rost) mit Schleifvorrichtungen entfernt. Schleifverfahren dienen aber auch der Entfernung von Graten und Unebenheiten. Beim Schleifen wird grundsätzlich ein Teil des Trägermaterials mit entfernt. Es kann manuell, z. B. mit Winkelschleifern, oder auf Maschinen erfolgen.

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Gleitschleifen erfolgt in der Regel in Trommelanlagen in denen Schleifkörper (Chips) und Werkstücke gegeneinander bewegt werden. In vielen Fällen wird zusätzlich eine Bearbeitungsflüssigkeit (Compound) hinzugegeben, welche die Reinigungswirkung verstärkt und die gewünschte Oberflächenoptik unterstützt. Das Verfahren wird vorwiegend zum Entgraten, Brechen von Kanten und zur Erzielung gleichmäßiger Oberflächenstrukturen bei Klein- und Massenteilen eingesetzt.

Umweltauswirkungen

Beim **Schleifen** auf Maschinen werden meist **Kühlschmierstoffe** eingesetzt. Details dazu finden sich im Bereich Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Spanende Bearbeitung > Schleifen, Honen. Beim Schleifen per Hand entsteht Staub, der mit Absauganlagen und Filtern aus der Luft entfernt werden muss

Beim **Gleitschleifen** entstehen sowohl flüssige Abfälle (verbrauchte Gleitschleifwässer) als auch Schlämme durch den Abrieb der Schleifkörper und der Werkstücke. Gleitschleifverfahren weisen eine geringe Umweltbelastungen auf, wenn die Gleitschleifflüssigkeit (Compound) in modernen Anlagen im **Kreislauf** gefahren wird, umweltgerechte Compounds eingesetzt und die **Verwertungsmöglichkeiten** für verbrauchte Gleitschleifkörper und die anfallenden Schlämme genutzt werden. Informationen zur umweltgerechten und abfallarmen Prozessführung erhalten Sie im Bereich Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Gleitschleifmittel.

Falls Wasser aus Gleitschleifanlagen in die Kanalisation eingeleitet werden soll, ist gemäß **WHG** eine Indirekteinleitergenehmigung erforderlich. Erläuterungen dazu erhalten Sie im Bereich Rechtsgrundlagen > Gewässerschutz > Aufbau und Struktur > Genehmigung.

Arbeitsschutz

Schleifvorgänge sind in der Regel mit einer hohen Lärmentwicklung verbunden, sodass ein Gehörschutz getragen werden muss. Anlagen, z. B. zum Gleitschleifen, werden oft mit einer Schallschutzhaube versehen. Hinweise zur Reduzierung von Lärmbelastungen am Arbeitsplatz finden Sie im Bereich Metallbearbeitung > Nebenprozesse > Lärm.

Insbesondere an Schleifmaschinen und beim manuellen Schleifen entstehen **Stäube sowie Vernebelungen** der eingesetzten Kühlschmierstoffe. Diese Stäube sollten abgesaugt und gefiltert werden, ggf. ist ein Mundschutz zu tragen. Weiterhin sind beim manuellen Schleifen eine Schutzbrille und Schutzhandschuhe erforderlich.

Strahlen

Verschiedene Strahlverfahren werden bei der Metallbearbeitung für drei Aufgabenbereiche eingesetzt:

- **Zur Oberflächenreinigung** (z. B. Entfernung von Lack oder Rost)
- **Zur Erzeugung definierter Oberflächen** (z. B. Mattieren, Satinieren)
- **Zur Erzeugen bestimmter Oberflächeneigenschaften** (z. B. Verdichten, erzeugen von Eigenspannungen)

Beim Strahlen wird ein festes oder flüssiges Strahlmittel mit hoher Geschwindigkeit auf die zu reinigende Oberfläche "geschossen". Die Reinigung erfolgt meist in einer Kombination aus mechanischer Abrasionswirkung durch das Strahlmittel und einer strömungstechnischen Ablösung durch das Trägermedium oder das Strahlmittel selbst. Bei einigen Strahlverfahren wird die Reinigung zusätzlich durch ein Lösen der Verunreinigungen im Strahlmittel unterstützt.

In metallverarbeitenden betrioeben werden vorwiegend folgende **Strahlverfahren** eingesetzt:

- **Druckluftstrahlen**: Das Strahlmittel wird dem Druckluftsstrom zugeführt und über eine Strahldüse auf die Oberfläche des Werkstücks gestrahlt
- **Schleuder(rad)strahlen**: Über rotierende Schaufelräder wird das Strahlmittel auf die Werkstückoberfläche geschleudert
- **Nassstrahlverfahren**: Hier wird das Strahlmittel in einer Flüssigkeit (meist Wasser) auf das Werkstück gestrahlt
- **Trockeneisstrahlen**: Das Strahlmittel ist dabei gefrorenes CO2. Dabei wird unterschieden zwischen
- **CO2-Schnee-Strahlen**: Das Strahlmittel ist hier CO2-Schnee und
- **CO2-Pellet-Strahlen**: Das Strahlmittel sind feste CO2-Kugeln

Weitere Informationen zur Technologie des Trockeneisstrahlens finden Sie auf der Homepage des Industriearbeitskreises Trockeneisstrahlen unter www.strahlverfahren.de

In KMU werden vorwiegend die Verfahren Druckluftstrahlen und Schleuder(rad)strahlen in geschlossenen Kabinen eingesetzt. Das Strahlmittel wird dabei in der Regel im Kreis gefahren.

Als **Strahlmittel** werden unterschiedliche Stoffe verwendet, z. B.

- **Mineralische Strahlmittel** wie Schlacken oder Quarzsand (daher landläufig auch Sandstrahlen genannt) sowie Glasperlen
- **Metallkugeln (Stahlkies, Stahldrahtkorn)** zur Entfernung fest sitzender Verschmutzungen, zum Auspacken von Gussteilen aus der Sandform sowie zur Verdichtung von Oberflächen
- **Getreideschrot, Walnussschalen usw**. für eine schonende Reinigung empfindlicher Oberflächen

Durch die starke mechanische Beanspruchung der Strahlmittel beim Auftreffen auf die Metalloberfläche werden diese beschädigt und teilweise zerstört. Der entstehende **Feinanteil ist für den Prozess unbrauchbar** und wird zusammen mit den Verschmutzungen aus dem Kreislauf ausgeschleust (Klassierung, Sichtung).

Umweltaspekte

Die beim Strahlen entstehenden **Abfälle** setzen sich daher aus dem Strahlmittel und der abgetragenen Verschmutzung zusammen. Bei den CO2-Verfahren besteht der Abfall nur aus den Verschmutzungen, da das CO2 sublimiert.

Werden Beschichtungen oder Oberflächen mit gefährlichen Inhaltsstoffen (z. B. Bleimennige, zinkhaltige Beschichtungen) gestrahlt, so ist der Abfall in der Regel als **gefährlicher Abfall** einzustufen.

Arbeitsschutz

Arbeitsschutzvorkehrungen sind in der BGR 500 Kapitel 2.24 Arbeiten mit Strahlgeräten (vormals BGV D26) festgelegt.

Beim Strahlen entstehen Stäube die gesundheitsschädlich sein können. Meist wird daher in geschlossenen Anlagen mit eingebautem Filter gestrahlt. Bei der offenen Anwendung des Verfahrens ist ein Abzug und ein Staubfilter erforderlich.

Beizen

Beizen ist in der Metalloberflächenbehandlung allgemein das chemische Entzundern und Entrosten durch Mineralsäuren. **Zur Behandlung von Stählen kommen vorwiegend saure Beizen wie Salzsäure, Schwefelsäure und Salpetersäure zum Einsatz. Aluminium- und Zinkwerkstoffe können sowohl in saurer als auch in alkalischer Lösung gebeizt werden**. Aluminium wird im sauren Bereich mit Salpetersäure-Schwefelsäure oder Salpetersäure-Flusssäure und im alkalischen Bereich mit wässriger Natronlauge gebeizt. In manchen Anwendungsfällen kann heute die Salpeter-Schwefelsäure durch Schwefelsäure kombiniert mit Wasserstoffperoxyd abgelöst werden. Nach der alkalischen Beize muss meist mit Säure nachbehandelt werden, um lose anhaftende Beizschlämme abzulösen und die Oberfläche aufzuhellen. Bei manchen Anwendungen wird auch mit Phosphorsäure gebeizt, wobei eine dünne Konversionsschicht mit dem Grundmaterial (Eisenphosphat) gebildet wird, die einen temporären Korrosionsschutz darstellt und gleichzeitig eine Basis für die anschließende Lackierung bildet. Durch die steigende Differenzierung der Materialqualitäten, besonders bei Stahl, lassen sich die Oberflächen mit Schwefelsäure nicht mehr zufriedenstellend beizen. Die Salzsäure trägt dagegen fast alle Legierungsbestandteile des Stahls ab bzw. löst sie auf. **Heute geht die Tendenz beim Beizen daher zur Salzsäure, weil damit auch Oberflächen leicht legierter Stähle behandelt werden können.** Beizsäuren werden im Allgemeinen organische Inhibitoren zugegeben, um den Beizangriff möglichst auf die oxidischen Verunreinigungen zu begrenzen und die Auflösung des Grundmaterials gering zu halten. Durch Zugabe von Tensiden kann den Beizbädern zusätzlich eine begrenzt entfettende Wirkung verliehen werden.

Tabelle: Beizlösungen zu Behandlung unterschiedlicher Metalle

Metall	Beizmittel	Konzen-tration	Tempe-ratur [°C]	Zeit [min.]	Anmerkung
Stahl	Schwefelsäure	10-20 %	40-70	10-45	höhere Temperatur beschleunigt
	Salzsäure	12-24 %	50-60		übliches Beizverhalten
	Phosphorsäure	10-20 %	40-70	20-60	nur als Vorbehandlung vor der organischen Beschichtung
Edelstahl (Cr/Ni)	Salpetersäure Flusssäure	10-20 % 4-8 %	40-60		übliches Beizverfahren
Edelstahl (versch. Arten)	Schwefelsäure Flusssäure Salpetersäure Wasser	10 % 10 % 40 % 40 %	R.T.	20-30	silbrige, halbglänzende Oberfläche: starken Zunder eventuell durch Bürsten entfernen
Kupfer	Schwefelsäure	5-20 %	20-60	10-40	Oberfläche wird nicht angeätzt
Messing	Schwefelsäure Salpetersäure Salzsäure	50 % 50 % 10 ml/l	R.T.	bis 30 s	nach vorangegangenem Beizen in Schwefelsäure entsteht durch "Brennen" eine glänzende Oberfläche
Zink	Salzsäure Natriumhydroxid	3-6 % 5-10 %	R.T. R.T.	10 10	schlecht abspülbar
Magnesium Mg-Legierungen	Salpetersäure Kaliumdichromat Wasser	20 % 20 g/l 80 %	80	einige Sekun-den	kann auch bei niedrigerer Temperatur mit längerer Expositionszeit betrieben werden
	Chromsäure	15 %	90-95	1-5	dünne Schichten von Korrosionsprodukten
Nickel	Kaliumpermanganat Soda	20-90 g/l 20-90 g/l	70-98	10-20	
	Schwefelsäure Rochelle-Salz (Kaliumnatriumtatrat)	95 g/l 95 g/l	70-80	20-30 l	für Inconel
	Salzsäure (Konz.) Kupferchlorid	45 g/l 20 g/l	80	10-20	für Monel
Aluminium Al-Legierungen	Natriumhydroxid	3-10 %	40-70	0,5-2	Nachbehandlung durch Aufhellen in verdünnter Salpetersäure oder unter Verwendung von Schwefelsäure und Wasserstoffperoxid. bei AlSi-Legierungen, Flusssäurezusätze

R.T. = Raumtemperatur

Quelle: LAI Musterverwaltungsvorschrift zum Beizen und Brennen

Verminderung von Umweltbelastungen

In Beizlösungen reichern sich Metallionen an, die Bäder müssen daher regelmäßig gewechselt werden. Verworfene Beizbäder müssen entweder in der betriebseigenen Abwasserbehandlungsanlage behandelt werden (siehe auch Nebenprozesse > Abwasserbehandlung) oder entsorgt und in einer externen **CPB** (z. B. Neutralisierung, Metallfällung) behandelt werden. Verbrauchte Beizbäder, die entsorgt werden sollen sind **gefährliche Abfälle** (Sonderabfälle) und müssen entsprechend der **AVV Abfallverzeichnisverordnung** eingestuft werden.

Beizen sind überwiegend Gefahrstoffe, die Beizen und ihre Dämpfe sind ätzend. Die Anlagen sind daher gekapselt bzw. vollständig geschlossen auszuführen, womit starkes Ausdampfen der Bäder vermieden wird.

Abfallreduzierung durch Verlängerung der Badstandzeit

Verfahrenstechnische Ansätze zur Verlängerung der Badstandzeiten:

- mechanische Vorentrostung und Vorentzundern durch Bürsten und Strahlen
- Verringerung des Rost-/Zunderbefalles durch entsprechende Lagerung oder Aufbringen eines temporären Korrosionsschutz
- Einhalten der erforderlichen Beizzeit
- Regelmäßige Kontrolle der Badzusammensetzung und Nachschärfen
- Entfernung fester Verunreinigungen durch Filtration der Bäder.

Zur besseren Ausnutzung der Beizlösungen können Wirkbadkaskaden (siehe wässrig Reinigen) eingesetzt werden.

Darüber hinaus sind folgende Verfahren zur Regenerierung und Badpflege möglich:

- Entfernung von Eisensulfat aus schwefelsauren Eisenbeizen durch **Kühlkristallisation**
- Entfernung von Kupferionen aus schwefelsauren Kupferbeizen durch **Elektrolyse**
- Entfernung von Eisenionen aus schwefelsauren Eisenbeizen durch **Membranelektrolyse**
- Entfernung von Fremdmetallionen aus Phosphorsäurebeizen durch I**onenaustausch**
- Rückgewinnung der freien Säure durch **Retardation** oder **Diffusionsdialyse**

Härten und Wärmebehandeln

Um harte Oberflächenschichten bei Stählen und NE-Metallen (z. B. Kupfer, Aluminium, Titan) zu erzielen, wird ein breites Verfahrensspektrum mit recht unterschiedlichen Einflüssen auf Umwelt und Arbeitsplätze eingesetzt. **Bei der Verfahrensauswahl sollten daher die Aspekte Umwelt- und Arbeitsschutz mit entsprechender Gewichtung einbezogen werden.**

Bild: Gasbefeuerter Härteofen mit oben angeordneter Wärmetauscherkassette zur Anwärmung von Brauchwasser.

Foto: ABAG-itm, Pforzheim

Neben der thermischen Arbeitsplatzbelastung durch die Wärmeabstrahlung von den Härteöfen spielt der **Abfallaspekt** eine wesentliche Rolle. Bei Abschreck- und Anlassprozessen werden als Abschreck- bzw. Anlassmittel Wasser (meist mit Korrosionsinhibitoren) Emulsionen, Öle (vorwiegend Mineralöle) und Salze verwendet, die teilweise eine erhebliche Umweltrelevanz aufweisen.

Auf die Umweltaspekte verschiedener Härtetechniken und den zum Abschrecken bzw. Anlassen eingesetzten Medien wird auf den nachfolgenden Seiten näher eingegangen

- Härten in der Gasphase
- Härten und Abschrecken im Ölbad
- Härten und Abschrecken im Salzbad
- Induktionshärten

Nach dem Abschreckvorgang müssen die Werkstücke gereinigt werden, d. h. das jeweilige Abschreckmittel wird in die **Reinigungsstufe** eingetragen. Bei reinen Härtereibetrieben oder separaten Reinigungsanlagen können die Verschleppungen teilweise zum Ausgleich der **Verdampfungs- bzw. Verschleppungsverluste** zurückgeführt werden. Dies sollten Sie fallspezifisch prüfen.

Hinweis:
Achten Sie auf umweltgerechte Einsatzstoffe! Auf chlorhaltige Emulsionen und Härteöle kann und sollte generell verzichtet werden. Bei Härtesalzen sollte der Einsatz von cyanidischen Salzen vermieden werden.

Bei **alternativen Verfahren** erfolgt der Härteprozess in der Gasphase, mit Plasmaverfahren oder als Induktionshärten. Das Härten in Vakuumöfen mit anschließendem Abschrecken mit Stickstoff ist umweltverträglicher. Diese Verfahren sollten wegen ihrer **besseren Umweltverträglichkeit** bevorzugt auf ihre Einsatzmöglichkeiten geprüft werden.

Härten in der Gasphase

Insbesondere zum **Oberflächenhärten** werden häufig Härteverfahren in der Gasphase sowie im Vakuum (Plasmahärten) eingesetzt. Härten in der Gasphase findet insbesondere bei der Oberflächenhärtung seine Anwendung, bei der eine harte und verschleißfeste Oberfläche bei zähen Kerneigenschaften gefordert wird. Besondere Arten der Oberflächenhärtung sind die **Einsatz- und Nitrierhärtung**.

Nitrierschachtofen mit Regelung der Ofenathmosphäre

Foto: Fa. STANGE Elektronik, Gummersbach

Im Vergleich zu anderen Härteverfahren weist das Härten in der Gasphase eine geringe Umweltrelevanz auf. Je nach Anwendungsfall werden der Ofenatmosphäre gasförmiger Kohlenstoff oder Stickstoff oder diese Gase freisetzende Medien (z. B. Ammoniak) zugeführt. An der Werkstückoberfläche bilden sich dann bei hohen Temperaturen und längerer Einwirkzeit die entsprechend harten Gefüge aus.

Durch die Gasdiffusion ist die Eindringtiefe begrenzt (max. bis ca. 1mm). Nachteilig ist auch die vergleichsweise lange Prozessdauer (teilweise über 10 Stunden), die je nach Ofenbauweise mit einem **erhöhten Energiebedarf** verbunden ist.

Härten und Abschrecken im Ölbad

Beim Ölbadhärten werden die geglühten Teile zur Abschreckung in ein Ölbad getaucht**. Härteöle** weisen den verfahrensspezifischen Vorteil auf, dass wegen des gegenüber wässrigen Medien viel höheren Siedepunkts an der heißen Metalloberfläche kaum Gasblasen entstehen. Damit wird ein sehr gleichmäßiger Wärmeübergang gewährleistet.

Verminderung von Umweltbelastungen

Als Härteöle werden in der Regel hochwertige Mineralöle mit geringen Anteilen an Additiven eingesetzt. Die **Sicherheitsdatenblätter** weisen in der Regel keine besonderen Gefährlichkeitsmerkmale **R**-Sätze und **S**-Sätze auf. Die **Wassergefährdungsklasse** sollte mit WGK 1 ausgewiesen sein. Im Anlieferungszustand sind Härteöle demnach meist nicht als **Gefahrstoff** eingestuft. Weisen die in Ihrem Betrieb eingesetzten Härteöle schlechtere Umweltwerte auf, so sollten sie sich mit Ihrem Lieferanten wegen möglicher Alternativen in Verbindung setzen.

Härteöle sind thermisch sehr stabil, so dass das Bad nur selten ausgetauscht werden muss. Die **Badstandzeiten** liegen meist bei zwei bis vier Jahren. Nicht zu vernachlässigen sind dagegen die **Öl-Austragsverluste** beim Entnehmen der gehärteten Teile aus dem Ölbad. Je nach Form und Oberfläche der Teile können hier erhebliche Ölmengen aus dem Bad ausgetragen werden. Mit geeigneten Fördereinrichtungen und langen Abtropfzeiten lassen sich diese **Verschleppungsverluste deutlich reduzieren**. Abtropfendes Härteöl kann problemlos wieder in den Prozess zurückgeführt werden.

BIld: gelochtes Transportband für im Ölbad abgeschreckte Teile

Foto: ABAG-itm, Pforzheim

Nach dem Abschreckvorgang müssen die Werkstücke in der Regel gereinigt werden. Die erfolgt meist mit einem wässrigen Reiniger (Näheres: Metall > Produktionsverfahren > Reinigen > Wässrig). Das Härteöl wird dabei in die Reinigungsstufe eingetragen und sollte als **standzeitverlängernde Maßnahme** kontinuierlich abgezogen werden. Hierzu werden verschiedene Systeme am Markt angeboten.

Entsorgung und Verwertung

Aus der Reinigungsstufe abgetrennte Härteöle können wegen der enthaltenen Wasseranteile nur selten in das Härtebad zurückgeführt und müssen als **gefährlicher Abfall (Sonderabfall**) entsorgt werden. In der Regel weisen sie jedoch eine gute Qualität auf (der Wassergehalt sollte unter 10 % liegen), so dass eine **stoffliche Verwertung** (Aufarbeitung in einer Zweitölraffinerie) möglich ist. Bei den derzeit hohen Ölpreisen kann eine kostenlose Abholung, bei größeren Mengen ggf. auch eine Vergütung vereinbart werden. Sprechen Sie diesbezüglich Ihren Entsorger an.

Härteöle auf Mineralölbasis können folgender Abfallschlüsselnummer gemäß Abfallverzeichnis Verordnung **AVV** zugeordnet werden:

13 03 07* nichtchlorierte Isolier- und Wärmeübertragungsöle auf Mineralölbasis

Härten und Anlassen im Salzbad

Insbesondere wegen seiner **hohen Umweltrelevanz** verliert das Salzbadhärten an Bedeutung, es weist jedoch noch nicht substituierbare technologische Vorteile auf. Die beim thermochemischen Härten (z. B. Nitrieren, Nitrocarborieren, Einsatzhärten und Borieren) eingesetzten **Salze sind Gefahrstoffe und je nach genauer Zusammensetzung umweltgefährdend und giftig**. Sowohl im Umgang als auch bei der Entsorgung werden daher hohe Anforderungen an Arbeitssicherheit und Umweltschutz gestellt. Aus Umweltgesichtspunkten sollten chloridische **und cyanidische Salze** nach Möglichkeit nicht mehr eingesetzt bzw. durch umweltgerechtere Stoffe ersetzt werden.

Bild: Salzbadhärtetiegel mit Teile-Trägergestell

Foto: ABAG-itm, Pforzheim

Verminderung von Umweltbelastungen

Prüfen Sie vorrangig, ob nicht ein **alternatives Verfahrenskonzept** für Ihre Anforderungen eingesetzt werden kann. Berücksichtigen Sie bei Ihren Überlegungen nicht nur die verfahrenstechnischen Aspekte, sondern beziehen Sie auch den gesamten Aufwand, den Sie bei der Lagerung, dem Handling und den Folge- und Nebenprozessen haben mit ein. Insbesondere beim Nitrier- und Carbonitrierhärten sind moderne Verfahren wie das **Gasphasenhärten** oder das **Plasmahärten** im Vakuum **wesentlich umweltfreundlicher**.

Härtesalze müssen als Gefahrstoff in einem, gegen unbefugten Zugang gesicherten, **Gefahrstofflager** gelagert werden. Dies betrifft in gleicher Weise auch die zur Entsorgung anstehenden Altsalze.

Beim **Umgang mit Härtesalzen** gelten umfangreiche **Arbeitsschutzmaßnahmen**, die im berufsgenossenschaftlichen Regelwerk „BGR 153 Wärmebehandlung von Stahl und anderen Schwermetallen in Salzbädern“ dokumentiert sind. Bei der Erstellung der erforderlichen Betriebsanweisung finden Sie Hilfen zur Vorgehensweise in der „BGI 578 Sicherheit durch Betriebsanweisungen“. Härtesalzbäder werden in Temperaturbereichen von 200 bis ca. 700 °C eingesetzt. Die dabei entstehenden Dämpfe müssen abgesaugt und die Salzstäube in der **Absauganlage** gefiltert werden.

BIld: Filteranlage zur Erfassung abgesaugter Härtesalzstäube

Foto: ABAG-itm, Pforzheim

Nach dem Abschrecken bzw. Anlassen im Salzbad müssen die Werkstücke gereinigt werden, d. h. das Salz wird in die Reinigungsstufe, in der Regel ein Wasserbad, eingetragen. Bei zu hohen Salzkonzentrationen muss das Reinigungsbad verdünnt bzw. ausgetauscht werden. Die salzhaltigen Abwässer müssen entweder in der betrieblichen Abwasserbehandlungsanlage (Nebenprozesse > Abwasserbehandlung) behandelt oder als gefährlicher Abfall (Sonderabfall) entsorgt werden.

Tipp zur Abfallvermeidung: Wird nur eine Salzart verwendet bzw. ist nur eine Salzart im Reinigungsbad gelöst, so kann das Salz über einen Eindampfprozess zurück gewonnen werden. Für den Eindampfprozess kann die in Härtereien meist im Überfluss vorhandene Abwärme von den Härteöfen genutzt werden.

Entsorgung und Verwertung

Härtereialtsalze fallen aus hauptsächlich aus drei Bereichen an: Staubförmig aus der Absauganlage, beim Abschöpfen von Verunreinigungen von den Salzbädern und bei Instandhaltungs- und Reinigungsarbeiten der Tiegel. Wenn ein Wiedereinsatz bzw. eine Verwertung nicht möglich ist, so müssen Härtereialtsalze als **gefährlicher Abfall (Sonderabfall) in Unter-Tage-Deponien** entsorgt werden.

Härtesalze sind unter der Gruppe 11 03 Schlämme und Feststoffe aus Härteprozessen gemäß Abfallverzeichnis Verordnung **AVV** folgenden Abfallschlüsseln zuzuordnen:

11 03 01* cyanidhaltige Abfälle
11 03 02* andere Abfälle

Für nitrithaltige und chloridische Härtereialtsalze wurde an der TU Claustal ein **Verfahren zur innerbetrieblichen Aufarbeitung** entwickelt.

Induktionshärten

Beim Induktionshärten wird meist nur der Teilbereich eines Werkstücks induktiv erhitzt, der gehärtet werden soll. Induktionshärteverfahren sind im Vergleich zu anderen Härteverfahren **umweltverträglicher**, da nur das zu härtende Bauteil bzw. ein Bauteilbereich selektiv erhitzt werden muss. Ein typisches Anwendungsbeispiel ist der Lagerbereich einer Kurbelwelle.

Wenn nur ein Teilbereich des Werkstücks gehärtet werden soll und die Wärme schnell genug in das verbleibende Werkstück abfließen kann ist unter Umständen **kein Abschreckprozess** erforderlich. In solchen Fällen ist das Induktionshärten das umweltverträglichste Härteverfahren.

Falls erforderlich, erfolgt das **Abschrecken** üblicherweise mit **wässrigen Medien**. Je nach Werkstoff kann mit Wasser (als Additiv ist meist noch ein Korrosionsschutzmittel enthalten) oder mit einer Emulsion (meist auf Mineralöl- oder synthetischer Basis) abgeschreckt werden. In der Vergangenheit wurden teilweise auch Emulsionen mit chlorhaltigen Additiven verwendet. **Chlorhaltigen Additive sollten aus Umweltschutzgründen generell nicht mehr eingesetzt und durch umweltfreundlichere Stoffe ersetzt werden.**

Verminderung von Umweltbelastungen

Umweltbelastungen beim Induktionshärten resultieren vorwiegend aus dem verwendeten **Abschreckmedium**. Die Bäder müssen gepflegt (Entfernung von eingetragenen Verunreinigungen) und ausgetauscht werden, wenn die Qualitätsanforderungen nicht mehr erfüllt werden.

Emulsionen sind als Öl-Wassergemische relativ empfindlich gegenüber Verunreinigungen und anfällig für Verkeimungen. Die Maßnahmen zum richtigen Umgang (Abfallvermeidung, Arbeitsschutz) entsprechen denen bei wassergemischten Kühlschmierstoffen und werden im Bereich Einsatzstoffe > Kühlschmierstoffe > Emulsionen ausführlich behandelt.

Phosphatieren

Das Phosphatieren von Oberflächen aus Eisen, Zink und deren Legierungen sowie einigen Aluminiumlegierungen wird zur **Erhöhung der Haftfestigkeit von Lackschichten und zur Verbesserung des Korrosionsschutzes** eingesetzt.

Nach dem Entfettungsprozess muss sorgfältig gespült werden, um anhaftende Entfettungsmittel, z. B. Lösemittelreste zu entfernen. Das noch nasse Teil kann sofort in die Phosphatierzone eingebracht und behandelt werden.

Phosphatschichten haften sehr gut, da die gebildete Schicht direkt auf das Metallgitter des Grundmaterials aufkristallisiert. Je besser die Struktur der Phosphatschicht mit der Gitterstruktur übereinstimmt, desto höher ist die Haftfestigkeit.

Die Schichtbildung wird durch die Kombination mehrerer chemischer Vorgänge erzielt:

- Beizangriff auf die Metalloberfläche
- Wasserstoffentwicklung und Verschiebung des pH-Wertes an der Metalloberfläche
- Bildung einer schwerlöslichen Phosphatschicht

In der betrieblichen Praxis haben sich die drei im Folgenden näher beschriebenen Phosphatierverfahren etabliert.

Eisenphosphatierung

Eisenphosphatieren ist ein relativ kostengünstiges Verfahren zur Verbesserung der Haftfestigkeit und des Korrosionsschutzes beim Lackieren. Die Phosphatierlösungen bestehen aus sauren Alkaliphosphaten, freier Phosphorsäure sowie geringen Mengen anderer Zusätze. Einleitende Reaktion ist die Beizreaktion, die Fe++ freisetzt, das mit den Phosphationen aus der Lösung unter Bildung von schwerlöslichem Eisenphosphat reagiert und sich fest haftend an der Metalloberfläche abscheidet. Die gängigen Eisenphosphatiermittel arbeiten im leicht sauren Bereich zwischen pH 4 und pH 6. Zur Bildung ausreichender Schichten sind 60-120 Sekunden im Spritzverfahren und 3-5 Minuten im Tauchverfahren bei Arbeitstemperaturen von 40-60°C erforderlich.

In der Praxis werden bei der Eisenphosphatierung zwei Verfahren eingesetzt

1) **Reinigung und Eisenphosphatierung in zwei Schritten mit Zwischenspülung**. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass saure oder alkalische Entfettungsmittel eingesetzt werden können. Es erfordert aber kostenintensive Anlagen mit vielen Zonen und eine recht aufwändige Abwasseraufbereitung.

2) **Entfetten und Eisenphosphatieren in einem Arbeitsgang mit einem sogenannten Kombimittel.** Bis auf wenige Anwendungsfälle hat sich das Kombiverfahren durchgesetzt. Durch die platzsparende Anlagentechnik und einfachere Abwasseraufbereitung sind die Betriebskosten im Vergleich zum getrennten Verfahren erheblich geringer.

Zinkphosphatierung

Die Phosphatierlösung besteht aus Metallkationen (Zink, Nickel, Mangan, ggf. Kupfer (bei nickelfreien Bädern), Phosphationen, Fluoridionen, Wasserstoffionen (Säure) und Beschleunigern (wie Nitrit, Chlorat, Wasserstoffperoxid oder organische Nitroverbindungen, z.B. Hydroxylammoniumsulfat (HAS)). **Wenn möglich sollte auf den Einsatz von Nickel aus Umweltschutzgründen verzichtet werden.**

Zinkphosphatschichten sind kristalline Schichten, die sich auf blanken Metalloberflächen bilden. Ausgelöst wird dieses Kristallwachstum durch Keime (Nickel oder Kupferabscheidungen) auf der Werkstückoberfläche. Die Keimbildung kann auch durch ein vorgeschaltetes Aktivierbad erreicht werden. Um die Anzahl der Prozessstufen zu verkürzen, kann eine Aktivierung bereits in Kombination mit dem Entfettungsprozess erfolgen. Der Schichtaufbau kommt zum Stillstand, wenn keine freie Metalloberfläche mehr vorhanden ist. Zinkphosphatierbäder arbeiten im sauren Bereich zwischen pH 2,5 und pH 3,5. Ausreichende Schichten werden in 30-180 Sekunden im Spritzverfahren und 5-20 Minuten im Tauchverfahren bei Temperaturen von 50-80°C erreicht.

Phosphatierbad

Quelle: Fa. Leistner, München

Der beim Verfahren gebildete Fe++-Anteil wird durch den Luftsauerstoff zum Fe+++ oxidiert und fällt als Reaktionsprodukt mit freier Phosphorsäure als schwerlöslicher Eisen- (III)Phosphatschlamm aus. Pro m^2 phosphatierter Stahlfläche fallen je nach Verfahren ca. 3-6 g Schlamm an. Dieser Schlamm setzt sich am Boden der Prozessbäder ab.

Die Zinkphosphatierung als Untergrund für Lackierungen schneidet hinsichtlich der technologischen Eigenschaften und des Korrosionsschutzes wesentlich besser ab als die Eisenphosphatierung. Lackierungen auf Zinkphosphatschichten genügen den hohen Anforderungen eines Außeneinsatzes.

Niedrigzinkverfahren

Dieses Verfahren wurde im Zusammenhang mit der Einführung der kathodischen Elektrotauchlackierung (KTL) entwickelt. Während die Normalzinkverfahren Kristallite in flächenartiger Form ausbilden, die auch teilweise aus der Ebene herausragen, zeigen die beim Niedrigzinkverfahren resultierenden Schichten eine weitgehende parallele Ausrichtung zur Metallunterlage und sind wesentlich feinkristalliner und kompakter.

Erreicht wird dies durch unterschiedliche chemische Zusammensetzungen. Aufgrund der niedrigeren Zinkkonzentration ergeben sich:

- längere Beizreaktion auf der Metalloberfläche und damit ein besserer Reinigungseffekt
- langsamere Schichtbildung und damit ein dichterer Überzug, parallele Ausrichtung der Kristallite zur Metalloberfläche

Diese Phosphatschichten zeigen zusammen mit KTL wesentlich bessere Eigenschaften als die Normalzinkverfahren.

Verfahrenstechnische Maßnahmen zu Verbesserung der Umweltverträglichkeit

- Nach dem alkalischen Entfetten müssen die Teile sorgfältig gespült werden, um eine **Verschleppung der alkalischen Lösung ins saure Phosphatierbad zu vermeiden**.
- Das unlösliche Eisenphosphat, das sich am Boden absetzt wird durch **Filtereinrichtungen** (Zyklone, Schrägklärer oder Zentrifugen) kontinuierlich aus dem Prozessbad entfernt.
- Die **Nachdosierung der Eisenphosphatiermittel** kann durch Dosierpumpen erfolgen, die über den pH-Wert oder die elektrische Leitfähigkeit des Mediums gesteuert werden.
- Bei der Zinkphosphatierung sollte auf nickelhaltige Prozesslösungen verzichtet werden.
- Die Zusammensetzung des Zink-Prozessbades kann durch automatische Zudosierung konstant gehalten werden. Dadurch **können Zinkphosphatierbäder eine jahrelange Standzeit haben**.
- **Regelmäßige Kontrolle** des Prozessbads und Nachschärfen

Verbrauchte Phosphatierbäder sowie die Spülbäder müssen entweder in der betrieblichen Abwasserbehandlungsanlage behandelt oder zur Behandlung in einer externen CPB-Anlage entsorgt werden. Bei einer Entsorgung sind die Phosphatierbäder als **gefährlicher Abfall** (Sonderabfall) gemäß der AVV Abfallverzeichnisverordnung einzustufen.

Passivieren

Nach einem Beizprozess korrodiert Eisen leichter als im unbehandelten Zustand, wenn es nicht gleich weiter bearbeitet (z. B. lackiert, galvanisiert, phosphatiert, emailliert usw.) wird. Durch Passivieren der Oberfläche kann die Korrosionsneigung reduziert werden. Häufig angewandte Passivierungsmittel sind verdünnte (bis 1%-ige) Lösungen von Chromaten. Weiterhin werden komplexe Zirkonfluoride, organische Polymere und Kupfersalze als Passivierungsmittel eingesetzt.

Chromate, Zirkonsalze und Kupferionen passivieren die Metalloberfläche. Chrom- bzw. Zirkonphosphate sowie die organischen Polymere verschließen die Poren bzw. verstärken durch Filmbildung die Barrierewirkung der Konversionsschicht.

Den Prozessbädern setzt man bis 0,5 % Netzmittel zu. Bei Chromaten setzt man der Lösung zur Stabilisierung etwas Soda zu (0,5 bis 1 %) und erreicht dabei gleichzeitig ihren besten Wirkungsgrad bei pH 6 bis pH 10. Bei Phosphaten wird ein geringer Anteil (0,1 bis 0,5 %) an Polyphosphaten zugesetzt, um ein Ausfällen der Härtebildner des Wassers zu vermeiden.

Umweltaspekte

Mit Inkrafttreten der Altfahrzeug-Verordnung und des Elektro- und Elektonikgerätegesetzes (**ElektroG**) wird die Verwendung von Chrom-VI bis auf wenige Ausnahmen verboten. Chromathaltige Passivierungsbäder werden also, zumindest im Automobil und Elektro-/Elektronikbereich, durch chromatfreie ersetzt werden müssen.

Die Passivierung wird in Prozessbädern durchgeführt, anschließend werden die Werkstücke gespült. Hier sind ebenso wie beim Reinigen Verschleppungen, z. B. durch ausreichende Abtropfzeiten, zu vermeiden.

Brünieren

Bild: Brünierte und unbehandelte Teile

Quelle: GIMA e. K., KBS-Brünieren

Beim Brünieren von Eisenwerkstoffen wird auf der Oberfläche durch konzentrierte stark oxidierende Lösungen ein dichter Oxidfilm erzeugt (Fe_3O_4). Das Eisen färbt sich dadurch braun bis schwarz. Dieser dekorative Effekt wird z. B. häufig bei Waffen eingesetzt. **Durch eine nachfolgende Behandlung mit Ölen, Wachsen wird zusätzlich ein guter Korrosionsschutz erreicht.**

Das Brünieren ist eine einfache Technik zur Farbgebung von Metallen. Es ist ein abwasser- und schwermetallfreies Verfahren und erfolgt nach DIN 50938.

Als Verfahrensvarianten besteht die Möglichkeit, in saurer, in alkalischer Lösung oder in Salzschmelzen (meist Nitrite/Nitrate) zu brünieren.

Das gängigste Verfahren ist das Brünieren in kochender Natriumhydroxidlösung. Dabei werden zusätzlich Oxidationsmittel, wie Natriumnitrit, zugegeben.

Der Verfahrensablauf besteht aus drei Schritten: Reinigen, Spülen, Brünieren, Spülen und ggf. Beölen der Oberfläche, um einen dauerhaften Korrosionsschutz zu gewährleisten. **Dem auf das Brünieren folgende Spülen kommt hohe Bedeutung zu, da die Brünierlösung dickflüssig und daher schwer zu entfernen ist.** Die Lösung, insbesondere die Salze müssen vollständig vom Werkstück entfernt werden, um eine nachträgliche Korrosion oder ein Ausblühen zu vermeiden.

Kaltbrünieren / Kaltfärben

Hierbei wird ein Schwermetallniederschlag auf der Oberfläche abgelegt. Die Variante des Kaltbrünierens, gewinnt in letzter Zeit zunehmend an Bedeutung. Das Verfahren arbeitet bei Raumtemperatur. Die Werkstücke werden vor der Behandlung mit Brünierlösung in einem Phosphorsäurebad aktiviert. Nach der Kaltbrünierung wird das anhaftende Wasser durch Entwässerungsöl verdrängt. Wie beim Heißbrünieren erfolgt der Korrosionsschutz durch Aufbringen eines dünnen Ölfilms. Für das Gelingen ist eine absolut metallisch blanke Oberfläche Vorrausetzung.

Umweltaspekte

Dem Brünieren sollte eine Kaskadenspülung nachgeschaltet sein, um den Wasserverbrauch zu senken. Die angereicherten Spülwässer werden ins Brünierbad zurückgeführt, um die Verdampfungsverluste auszugleichen. Damit kann das Verfahren abwasserfrei betrieben werden.

Durch aus der Luft eingeschlepptes CO_2 konzentriert sich im Brünierbad Soda auf, das zusammen mit verschiedenen Eisenverbindungen den Brünierschlamm bildet. Dieser nitrithaltige Schlamm ist als **gefährlicher Abfall** (Sonderabfall) gemäß **Abfallverzeichnisverornung AVV** einzustufen. Er wird wegen seiner hohen Wasserlöslichkeit oft in einer Untertagedeponie beseitigt.

Arbeitsschutz

Die Badbestandteile sind stark ätzend. Daher sind Schutzhandschuhe und Schutzbrille bei der Bedienung erforderlich.

Besondere Vorsicht ist beim Ansetzen der Bäder geboten, da die Badkomponenten (Natriumhydroxid) bei der Zugabe von Wasser stark exotherm reagieren und zudem beim Aufheizen ein Siedeverzug entstehen kann. Es ist eine Objekt- und Behälterrandabsaugung anzubringen.

Befetten

Nach der mechanischen Bearbeitung werden metallische Werkstücke, die anschließend nicht unmittelbar weiterverarbeitet werden, **befettet, um einen temporären Korrosionsschutz zu erreichen**.

Die Befettung kann manuell durch den Auftrag eines Sprühölfilms, bei großen Stückzahlen auch maschinell in einem Befettungsbad erfolgen. Befettungsbäder sind Emulsionen aus Öl und Wasser. Hier sind analog zu den Kühlschmierstoffen Pflegemaßnahmen erforderlich.

Da die befetteten Werkstücke meist weiterbehandelt werden (z. B. lackiert), muss der Öl/Fettfilm wieder entfernt werden. Um diesen nachfolgenden Reinigungsschritt nicht unnötig zu belasten, ist beim Befetten darauf zu achten, dass

- nur ein **dünner Ölfilm** auf das Werkstück aufgebracht wird
- bei der Befettung die **erforderlichen Abtropfzeiten eingehalten werden**
- sich **im Transportbehälter keine Öllachen** bilden.

Beschichtungsverfahren

In den meisten metallverarbeitenden Betrieben werden die hergestellten Bauteile oder Produkte zum Schutz vor Korrosion, aus funktionalen und/oder optischen Gründen beschichtet. Die gängigsten Beschichtungsverfahren sind:

- **Lackieren mit Nass- oder Pulverlack** als Korrosionsschutz sowie aus optischen und funktionalen Gründen
- **Verzinken, insbesondere Feuerverzinken**, überwiegend als Korrosionsschutz
- **Galvanisieren** als Korrosionsschutz, aus optischen und funktionalen Gründen.

Darüber hinaus werden für speziellen Aufgaben auch CVD- und PVD-Verfahren eingesetzt, um besonders dünne und widerstandsfähige Schichten zu erzeugen.

Roboterlackierung mit Wasserlack

Quelle: Redaktion besser lackieren!

In den letzten ca. 20 Jahren wurden bei den Beschichtungsverfahren in Verbindung mit den Materialentwicklungen Fortschritte hinsichtlich der Fertigungstechnik und der Produktqualität erzielt. Gleichzeitig konnte der Material- und Energieverbrauch in verschiedenen Prozess- und Anlagenbereichen reduziert und damit die Umwelt entlastet werden. Bedeutende Entwicklungen sind z. B.:

- Bei den **Nasslackierverfahren** konnten, insbesondere durch den verstärkten Einsatz lösemittelarmer Lacksysteme (Wasserlacke, high solids) und verbesserte Auftragstechniken (z.B. Elektrostatisch unterstütztes Spritzen, HVLP-Technik), die Emissionen von Lösemitteln und das Abfallaufkommen reduziert werden.
- Das **Pulverlackieren** genügt heute höchsten Qualitätsansprüchen und ist damit unter Beachtung verfahrensspezifischer Einschränkungen (z. B. nicht geeignet für temperaturempfindliche Teile) eine Alternative zur Nasslackierung. Es ist ein abfallarmes und abwasserfreies Verfahren; die Pulverlacke selbst sind lösemittelfrei.
- Im Bereich der **elektrolytischen Beschichtung** wurden Kreislauftechniken entwickelt, die die Abwasserbelastung und das Abfallaufkommen deutlich verringern.

Dennoch sind die meisten **Beschichtungsverfahren weiterhin umwelt- und arbeitsschutzrelevante Verfahren**. Insbesondere hinsichtlich der Freisetzung von leichtflüchtigen organischen Lösemitteln (VOC), der **gefährliche Abfälle (Sonderabfälle)** und der Belastung des Abwassers (AbwV, **Anhang 40**) ist eine kontinuierliche Verbesserung möglich und innerbetrieblich anzustreben.

Die meisten **Beschichtungsstoffe sind darüber hinaus als Gefahrstoffe eingestuft.** Daher sind Maßnahmen zum Arbeitsschutz und sachgerechter Lagerung zwingend erforderlich.

Eine Übersicht und Checklisten zur Technik und den Umweltaspekten beim Lackieren finden Sie bei der Deutschen Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung (DFO) unter Lackieren und Umwelt.

Lackiertechnik

Grundsätzlicher Verfahrensablauf

Lackierprozesse sind jeweils auf die zu lackierenden Produkte, die Qualitätsanforderungen und den Fertigungsablauf abgestimmt. Sie werden in **nahezu allen Branchen der Metallbearbeitung** eingesetzt, wobei das weite Anwendungsspektrum von geringen bis zu extrem hohen Oberflächenqualitäten reicht.

Der Verfahrensablauf beim Lackieren lässt sich stark vereinfacht darstellen als Prozesskette mit den Teilschritten

- Vorbehandlung der Werkstückoberfläche (falls qualitativ erforderlich)
- Lackauftrag
- Trocknung bzw. Härtung der Lackschicht

Bevor Werkstücke lackiert werden, müssen sie, je nach Qualitätsanforderung und Zustand der Werkstückoberfläche, **gereinigt und entfettet** werden. Umweltspezifische Informationen zu den verschiedenen Reinigungs- und Entfettungsverfahren finden Sie im Kapitel Metall > Produktionsverfahren > Reinigen.

Metallische Werkstücke werden heute überwiegend wässrig gereinigt, organische Lösemittel werden nur noch selten eingesetzt. Für eine weitere Verbesserung der Lackschichthaftung und des Korrosionsschutzes können sog. Konversionsbehandlungen erfolgen, z.B. durch Eisen- und Zinkphosphatierungen (überwiegend für Stahlteile) oder Chromatierungen (für Leichtmetalle).

Nach dem Lackauftrag werden die beschichteten Werkstücke **getrocknet und/oder gehärtet**. Bei der Trocknung verdunsten die in der Lackschicht enthaltenen Lösemittel teilweise oder vollständig. Die bei chemisch vernetzenden Lacksystemen erfolgende Aushärtung kann z. B. thermisch oder durch Strahlung (IR bzw. UV Strahler) erreicht werden.

Lackauftrag und Lackschichttrocknung /-härtung werden bei Mehrschicht-Lackierungen (z. B. Grundierung, Füllerschicht, Decklackierung) mit demselben oder mit unterschiedlichen Verfahren wiederholt, wobei zusätzliche Arbeitsschritte, z. B. ein Zwischenschliff zur Haftungsverbesserung, notwendig sein können.

Lackierverfahren

Für das breite Spektrum an Lackieraufgaben steht eine Vielzahl an Lackierverfahren zur Verfügung, die mit „maßgeschneiderten“ Anlagen und Handhabungssystemen betrieben werden können. Die wichtigsten und am häufigsten in Industrie und Handwerk eingesetzten Verfahren sind im folgenden aufgeführt; das Lackieren mit Nasslack ist dabei nach wie vor am weitesten verbreitet.

Spritzlackieren: Der Lack wird mittels eine Spritzpistole zerstäubt und aufgebracht. Die wesentlichen Vorteile des Verfahrens liegen in der möglichen hohen Flächenleistung und Beschichtungsqualität sowie seiner großen Flexibilität und der Mobilität. Allerdings geht entsprechend der Anwendung ein erheblicher Teil des Lacks durch **Overspray** (fehlverspritzter Lack) verloren. Der Overspray kann durch geeignete Spritzpistolen (z. B. HVLP- Technik) oder durch elektrostatisch unterstützte Verfahren deutlich gesenkt werden.

Tauchlackieren: Hier werden die Werkstücke in Lackbäder getaucht und nach der Lackbenetzung wieder herausgezogen. Die Abscheidung erfolgt bei 140 - 240 Volt Gleichspannung. Beim Tauchlackieren entstehen keine Oversprayverluste, dafür sollten schöpfende und aufschwimmende Teile sowie mögliche Lufteinschlüsse in Hohlräumen vermieden und entsprechende Ablauföffnungen vorgesehen werden. Eine spezielle Variante ist die Elektrotauchlackierung, wobei zwischen Lackbad und Werkstück eine elektrische Spannung angelegt wird. Aufgrund der elektrochemischen Lackabscheidung können weitgehend vollständige, gleichmäßige und läuferfreie Beschichtungen erzielt werden. Die durch elektrostatische Kräfte auf dem Werkstück anhaftende KTL-Schicht wird anschließend bei ca. 140 - 200 °C vernetzt.

Bild: Kathodische Tauchlackierung (KTL) von Karosserien

Quelle: Redaktion besser lackieren!

Walzen, Gießen: Beim Walzen wird der Lack automatisiert durch rotierende Gummiwalzen aufgetragen. Dabei können sehr dünne Schichten erzeugt werden. Beim Gießen durchläuft das Werkstück einen so genannten "Lackvorhang", wodurch sehr gleichmäßige Schichten erzeugt werden können. Beide Verfahren zeichnen sich durch einen sehr hohen Auftragswirkungsgrad aus und eignen sich aber nur für die Lackierung flächiger Werkstücke, z. B. für Platinen und Metallbänder.

Darüber hinaus bestehen zahlreiche Verfahren, die überwiegend aufgabenspezifisch eingesetzt bzw. speziell entwickelt wurden, **z. B. Streichen, Fluten, Zentrifugieren, Vakuumlackieren, etc**.

Pulverlackieren: Der lösemittelfreie Pulverlack wird meistens über elektrostatische Sprühverfahren aufgetragen. Die durch elektrostatische Kräfte auf dem Werkstück anhaftende Pulverschicht wird anschließend bei ca. 140 - 200 °C vernetzt. Speziell für Kleinteile geeignet sind die sog. Wirbelbadverfahren, bei denen die Werkstücke in einer Kammer bzw. über ein Fluidisierbecken in einer „Pulverlackwolke“ beschichtet werden.

Die Pulverlackierung ist ein umweltverträgliches Verfahren: es fallen keine Lösemittelemissionen an, zudem kann das Lackmaterial praktisch vollständig im Kreislauf gefahren werden. Wurde früher nur mit Pulver beschichtet bei eher geringen Anforderungen an die Oberflächenqualität, z. B. im Bereich der Weißen Ware, so sind heute Pulverlacksysteme verfügbar, die höchsten Anforderungen genügen und sogar in der Autoserienlackierung eingesetzt werden.

Prinzipschema einer elektrostatischen Pulverbeschichtungsanlage

Quelle: Fraunhofer IPA, Stuttgart

Umweltschutz in der Lackiertechnik

Für die verschiedenen lackiertechnischen Arbeitsschritte werden Beschichtungs-, Reinigungs- sowie Hilfsstoffe benötigt. Es entstehen neben den Arbeitsergebnissen verfahrensspezifische Emissionen und Materialverluste, die für die Umwelt und die Mitarbeiter belastend sind. Maßgeblich für die Umweltverträglichkeit eines Lackierverfahrens sind im Wesentlichen folgende Aspekte:

- Anlieferung der zu lackierenden Werkstücke: **Werkstücke sollten mit möglichst wenig Verunreinigungen behaftet sein.** Zum temporären Korrosionsschutz unbeschichteter Metallteile genügt häufig ein dünner Ölfilm, der im anschließenden Reinigungsschritt leicht entfernt werden kann. Sprechen Sie diesbezüglich mit Ihrem Zulieferer.
- Art der Vorbehandlung/Vorbereitung der zu lackierenden Werkstücke (z. B. Entfetten, Reinigen, Phosphatieren, Spachteln, Schleifen). **Die Reinigung und Entfettung sollte möglichst in wässrigen Systemen erfolgen.** Hier entstehen keine Lösemittelemissionen.
- Art des Lackmaterials (z. B. Lösemittellack, Wasserlack, Zwei-Komponentenlack). **Prüfen Sie die Einsatzmöglichkeiten von Wasser- High-Solid- oder Pulverlacksystemen,** die keine oder deutllich geringere Lösemittelanteile enthalten.
- Lackieraufwand: **Unter Beachtung der tatsächlich erforderlichen Beschichtungsqualität ist der Lackieraufwand möglichst gering zu halten.** Dies kann die Reduzierung der zu lackierenden Flächen, die Vermeidung von Überbeschichtungen sowie die Einsparung von Beschichtungsgängen beinhalten.
- Der **Auftragswirkungsgrad bei der Spritzlackierung** kann je nach Applikationssystem und Bauteilgeometrie zwischen 10 bis über 90% liegen; der Rest geht als Overspray (fehlverspritzter/ -versprühter Lack) verloren. Soweit es fertigungstechnisch möglich ist, sollten folgende Maßnahmen geprüft werden: - Lackverlustarme Lackierverfahren (z. B. HVLP- oder elektrostatisch unterstütztes Spritzen, Walz- und Gieß-, Tauch- oder Pulverlackierverfahren), - Optimierung der Einstellung und Handhabung der Lackiereinrichtungen sowie der Werkstück-Positionierung, - Automatisierung und Überwachungsmaßnahmen.
- **Farbwechsel sollten mit möglichst geringer Häufigkeit anfallen,** da die Lackieranlage jeweils gereinigt werden muss. Es ist z. B. vorteilhaft, Chargen mit einheitlicher Farbe zusammenzustellen.
- Die Art der **Lackfilmtrocknung und -vernetzung** sowie der evtl. vorhandenen Abluftreinigung können erheblichen Einfluss auf den Energieverbrauch und die Emission von Lösemitteln haben.

Für den gesamten Bereich der Lackiertechnik ist die 31. BImschV (Lösemittelverordnung) von zentraler Bedeutung. Sie beschränkt die direkte und diffuse Emission flüchtiger organischer Bestandteile insbesondere von organischen Lösemitteln drastisch.

Leitfäden zur Anwendung der Lösemittelverordnung im Bereich Druckereien, Kfz-Gewerbe sind beim Umweltminsterium Baden-Württemberg erhältlich.

Anlieferung der zu lackierenden Werkstücke: Werkstücke sollten mit möglichst wenig Verunreinigungen behaftet sein. Zum temporären Korrosionsschutz unbeschichteter Metallteile genügt häufig ein dünner Ölfilm, der im anschließenden Reinigungsschritt leicht entfernt werden kann. Sprechen Sie diesbezüglich mit Ihrem Zulieferer.

Nasslackieren (Spritzlackieren)

Nasslack kann auf verschiedene Weisen auf das Werkstück aufgebracht werden. Die am weitesten verbreitete Technik im industriellen und handwerklichen Bereich ist das Spritzlackieren. Das Spritzlackieren ist jedoch gegenüber anderen Auftragsverfahren (z.B. Walzen, Gießen, Tauchen) meistens mit höheren Umweltbelastungen und einem höheren Materialverbrauch verbunden, da ein Teil des Lacks fehlverspritzt wird (**Overspray**).

Prüfen Sie also immer, ob Ihre Beschichtungsaufgabe unter den Gesichtspunkten der Lackeinsparung und des Umweltschutzes nicht auch mit anderen Techniken wie Tauchen, Gießen oder Walzen erfüllt werden kann. Auf das Spritzlackieren kann evtl. dann verzichtet werden, wenn z. B. flache Werkstücke zu lackieren sind, nur ein Farbton gefordert ist, keine höchsten Ansprüche an die Oberflächenqualität bestehen.Prüfen Sie auch, ob das Werkstück überhaupt lackiert werden muss. Nicht sichtbare Teile benötigen keine aufwändige dekorative Beschichtung, z. B. Lüfterräder in elektrischen Geräten. Ebenso benötigen z. B. Edelstahlteile funktionell keinen Korrosionsschutz. Das Spritzlackieren ermöglicht bei fachgerechter Handhabung eine gleichmäßige Beschichtung mit hoher Oberflächenqualität. Zur Anwendung kommen die Verfahren des Druckluftspritzens, des Airlessspritzens (luftlose Zerstäubung durch hohen Lackdruck) und des Airlessspritzens mit Luftunterstützung (häufig als Airmix®-Verfahren bezeichnet).

Bild: Entstehung von Oversprayverlusten, links konventionelle Technik, rechts Overspray-reduziertes Lackieren.

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Bem Spritzlackieren ist ein Lackverlust durch Overspray unvermeidlich. Overspray wird durch direktes Vorbeispritzen am Werkstück sowie durch seitlich abströmende, feine Lacktröpfchen vor der Werkstückoberfläche verursacht. Die Spritzlackierung erfolgt aus Umwelt- und Arbeitsschutzgründen meistens in Kabinen oder an Spritzständen /- wänden mit einer Absaugung des Oversprays und der Lösemittel. Wird in einer Halle lackiert, z. B. bei sehr großen Teilen, ist ebenso für eine ausreichende Belüftung bzw. Absaugung zu sorgen. Dies kann u. a. durch sogenannte Weitwurfdüsen erfolgen. Der abgesaugte Lacknebel muss durch geeignete Filter (Trockenabscheidung) oder über einen Wasservorhang (Nassabscheidung) aufgefangen werden. Die so vorgereinigte Abluft ist meist mit Lösemitteln beladen (in geringem Maße auch bei der Verwendung von Wasserlacken) und kann nach Erfordernis zusätzlich u.a. durch Adsorptionsfilter oder thermische Verfahren gereinigt werden. Weitere Informationen finden Sie auf der Seite Rechtsgrundlagen > Imissionsschutz > Luftreinhaltung > VOC Emissionen.

Bild: Spritzkabine mit Trockenabscheidung, wie sie zur Lackierung von Werkstücken eingesetzt wird

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Vermeidung und Verminderung von Overspray und Lackabfällen

Je nach Spritztechnik sowie Werkstückzuordnung und -form werden nach Praxiserfahrungen ca. 5 – 90 % des eingesetzten Lacks fehlverspritzt (Overspray) und müssen abgesaugt und letztendlich als Abfall entsorgt werden. **Maßnahmen zur Reduzierung des Oversprays rechnen sich in vielen Fällen** allein auf Grund des hohen Preises der Lackmaterialien. Einige Beispiele zur Reduzierung des Oversprays:

- **High-Volume-Low-Pressure Technik (HVLP)**: Bei der HVLP-Technik wird der übliche Spritzluftdruck beim Druckluftzerstäuben von 3 bis 6 bar auf ca. 0,7 bar reduziert. Damit kann der Auftragswirkungsgrad gegenüber dem üblichen Hochdruckspritzen bis ca. 20 % und mehr, je nach Ausgangssituation, erhöht werden. Für die HVLP-Technik sind spezielle Spritzpistolen und angepasste Lacke erforderlich. Die Technologie ist inzwischen ausgereift und genügt höchsten Qualitätsansprüchen.
- **Elektrostatisch unterstütztes Spritzen**: Beim elektrostatisch unterstützten Spritzen wird zwischen dem an Erdpotenzial liegenden Werkstück und der hochspannungsführenden Spritzpistole ein elektrisches Feld erzeugt. Die Lackpartikel werden elektrostatisch aufgeladen und folgen den Feldlinien, die sich zwischen Werkstück und Spritzpistole aufbauen. Die Zerstäubung erfolgt meistens über Druckluft- und Airlessverfahren sowie über schnell laufende Rotationsglocken oder -scheiben (Hochgeschwindigkeitsrotation). Diese Technik eignet sich auch für kompliziert geformte Werkstücke. Größere Vertiefungen, sogenannte Faradaysche Käfige, können dabei den Lackauftrag behindern. Es können je nach Beschichtungsaufgabe Auftragswirkungsgrade bis ca. 85% realisiert werden, bei Hochrotationszerstäubern sind bis über 90% erreichbar.

Bild: elektrostatisch unterstütztes Spritzen

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Schulung des Personals: Die beste Technik nützt wenig, wenn das Personal nicht entsprechend in der Anwendung unterwiesen wird und die Prozesszusammenhänge nicht versteht. Sowohl bei der manuellen, als auch bei der automatisierten Teilelackierung sind eine entsprechende Qualifizierung bzw. Schulungsmaßnahmen erforderlich. Dabei sind u. a. die richtige Einstellung der Spritzpistole (z. B. Druck und Volumen), die richtige Auftragstechnik (z. B. Spritzabstand, Bahnführung von Spritzautomaten, Einhaltung von Schichtdicken) und organisatorische Aspekte wie Entleerung der Gebinde oder Farbwechsel zu beachten.

Verfahrensbedingte und werkstückabhängige Lackoversprayverluste

Quelle: Fraunhofer IPA, Stuttgart

Vermeidung von Lösemittelemissionen

Lacke enthalten Lösemittel, die entsprechend der Vorgaben der 31. BImSchV (Lösemittelverordnung) von der Umwelt fern gehalten werden müssen. Grundsätzlich wird das gesamte im Lack enthaltene Lösemittelgemisch während des Lackierens und der Lackschichttrocknung freigesetzt, soweit es nicht durch betriebsinterne Recyclingprozesse (z. B. Adsorptionsverfahren) teilweise zurückgewonnen wird. Hinzu kommen Lösemittelemissionen durch Reinigungsvorgänge an den Werkstücken und den Lackiereinrichtungen.

Für viele Anwendungsbereiche können inzwischen lösemittelarme und recyclingfähige Lacksysteme eingesetzt werden, die direkt zu einer Minderung der VOC-Emissionen führen.

Wasserlacke haben den Vorteil, dass sie deutlich geringere Lösemittelemissionen verursachen und vor allem bei 1-Komponentenlacken prinzipiell die Voraussetzung zum internen Oversprayrecycling aufweisen. Aber Vorsicht, auch Wasserlacke sind nicht vollständig lösemittelfrei, die Bandbreite liegt zwischen < 1% bis ca. 15%. Informieren Sie sich also vorab bei Ihrem Lacklieferanten und beachten Sie die Sicherheitsdatenblätter.

Wasserlacke erfordern zudem einige anlagen- und anwendungstechnische Veränderungen, besonders im Bereich der Lackversorgungs- und Trocknungseinrichtungen. Weitere Informationen finden Sie auf der Seite Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Beschichtungsstoffe > Vermeidung.

Anlagentechnische Besonderheiten für Wasserlacksysteme

Die Umstellung von Lösemittellacken auf Wasserlacke ist meistens mit anlagentechnischen Änderungen verbunden. Sie erfordert in Kooperation mit den Lack- und Chemikalienlieferanten eine sorgfältige Planung und Anpassung der Lackierprozesse.

Die eigentliche Lackapplikation kann teilweise mit den vorhandenen Techniken durchgeführt werden. Wo dies nicht möglich ist, müssen bestimmte anlagentechnische Voraussetzungen geschaffen werden. (siehe unten). Größere Umstellungen können auch bei der Lacktrocknung erforderlich sein, da die Verdunstung des Wassers mehr Zeit und Energie benötigt.

Vorteile und Besonderheiten bei der Umstellung auf Wasserlacksysteme

Vorteile von Wasserlacken	Anlagen- und prozesstechnische Besonderheiten bei der Umstellung auf Wasserlacke
• Geringer Lösemittelgehalt und entspr. geringe Emissionen • Möglichkeit der Overspray-Rückgewinnung von 1-K-Systemen • Geringere Sicherheitsanforderungen an Brandschutz und Lagerung • Verwendung von Wasser zur Gerätereinigung	• Lagerung der Lackgebinde in temperierten Räumen • Ausführung der lackberührenden Teile in Spritzsystem und Lackversorgung in Edelstahl oder geeigneten Kunststoffen • Werkstückoberfläche muss benetzbar sein, d. h. Verwendung abgestimmter Vorbehandlungsverfahren • Anpassung der Lackauftragsbedingungen (z. B. Lackerwärmung zur Viskositätserniedrigung, veränderte Spritzdrücke, besondere Einrichtungen bei elektrostatischer Lackaufladung, Einhaltung der vorgegebenen Schichtdicken usw.) • Mindesttemperatur von ca. 20 °C für Lack, Werkstück und Umgebungsluft beim Lackauftrag • Anpassung der Koagulationsmittel im Auswaschwasser • Kontinuierliche Luftbewegung über dem Nasslackfilm (ca. 0,5 –1,5 m/s) zur rascheren Trocknung; ggf. sind längere Abdunst- und Trockenzeiten zu berücksichtigen

Betriebsinternes Recycling von Lackoverspray

Die oben aufgeführten Maßnahmen zur Verbesserung des Auftragwirkungsgrades bzw. Verminderung des Oversprays führen auch zu einer Minderung der Lösemittelemissionen. Beim Spritzlackieren kann verfahrensbedingt der Overspray nicht gänzlich vermieden werden, so dass er aus der Kabinenabluft abgeschieden werden muss.

Für die Oversprayabscheidung stehen eine Reihe von Techniken zur Verfügung. Die Verfahren, bei denen Overspray durch betriebsinterne Rückgewinnungsverfahren als Lack im Betrieb wieder eingesetzt werden kann, sind dabei unter dem Aspekt der Abfallvermeidung als besonders hochwertig einzustufen. Je nach Rückgewinnungsverfahren und Anlagenkonzept zeigen Praxisergebnisse, dass ca. 60 – 97 % des Oversprays zurückgewonnen werden können.

Diese Verfahren kommen hauptsächlich bei der Verarbeitung größerer Mengen aufarbeitbarer 1K-Wasserlacke mit einheitlichen Farbtönen in Frage. Bei Altanlagen sind dazu entsprechende Umbauten erforderlich. Aus Praxiseinsätzen und Pilotvorhaben sind derzeit vor allem folgende Systeme zur direkten Rückgewinnung von Overspray bekannt:

- Direkte Oversprayabscheidung im Lackvorrat (lackbeflutete "Lack in Lack"-Spritzkabine)
- Oversprayabscheidung an Auffangflächen, z. B. gekühlte Flächen (Coolac-Verfahren), schnellumlaufendes Band, rotierender Zylinder
- Oversprayabscheidung im Spritzkabinenauswaschwasser mit Aufkonzentration, z. B. **Ultrafiltrationstechnologie**

Bild: Spritzkabine mit Lackrückgewinnng

Quelle: Range und Heine, Winnenden

Weitere Informationen insbesondere zum Umgang mit kleinen Lackmengen und zur Logistik finden Sie auf der Seite Metallverarbeitung > Einsatzstoffe > Beschichtungsstoffe > Nasslacke und im Bereich Maler und Stuckateure.

Pulverbeschichtung

Verfahrensablauf

Das pulverförmige Beschichtungsmaterial wird auf die Werkstücke aufgetragen und durch Wärmeeinwirkung zu einem geschlossenen Film verschmolzen bzw. zusätzlich vernetzt.

Bei den meistens angewandten elektrostatischen Sprühverfahren werden die Pulverteilchen aufgeladen und durch elektrische Feldkräfte zum geerdeten Werkstück transportiert, wo sie aufgrund elektrostatischer Kräfte anhaften. Bei den sogen. „Korona“-Sprühsystemen erfolgt die Teilchenaufladung im Sprühorgan mittels hochspannungsführender Elektroden (bis ca. 80 kV). Bei den „Tribo“-Sprühsystemen werden die Pulverteilchen allein durch Reibung beim Durchströmen eines Teflonkanals aufgeladen. Bei Verwendung geeigneter Pulverlacke stellen Tribo-Sprühsysteme besonders bei kritischen Werkstückformen (z. B. starke Vertiefungen) eine zu prüfende Alternative dar. Als Fördermedium für den Pulverlack vom Gebinde bis zum Sprühorgan dient Druckluft, mit der das Pulver in einen aufgelockerten, fließfähigen (fluidisierten) Zustand gebracht wird. **Der nicht am Bauteil verbliebene Pulverlack, der sogenannte Overspray, wird dabei abgesaugt, mittels Filter- oder Zyklonabscheider zurückgewonnen und kann in der Regel wiederverwendet werden.**

Speziell für Kleinteile geeignet sind die sogenannten Wirbelbadverfahren, bei denen die Werkstücke in einer Kammer bzw. über einem Fluidisierbecken in einer „Pulverlackwolke“ beschichtet werden. Bei den Sinterverfahren werden hier die Werkstücke bereits vor der Beschichtung bis über die Schmelztemperatur des Pulvers erhitzt; das Pulver verschmilzt beim Kontakt mit dem heißen Werkstück zu einer glatten Schicht. **Zur Pulverbeschichtung eignen sich grundsätzlich Bauteile, welche elektrisch leitfähig und temperaturfest (meist zwischen 160 bis 200°C) sind.** Dies sind in erste Linie Metalle wie Stahl und Aluminium. Für wärmeempfindliche Werkstücke (z. B. Kunststoff- und Holzwerkstoffteile, vormontierte Bauteile) eröffnen niedrigtemperaturhärtende bzw. strahlenhärtende Pulverlacke neue Perspektiven. Elektrisch gering leitende Materialien sind nur mit zusätzlichem Aufwand (z. B. Applikation einer Leitflüssigkeit) elektrostatisch pulverbeschichtbar. Die Pulverbeschichtung eignet sich auch sehr gut für die Beschichtung stark durchbrochener Bauteile. Zum einen wird das Pulver durch die elektrostatische Aufladung auf das Bauteil gelenkt. Zum anderen kann das überschüssige Pulver in Kreislauf gefahren und wieder eingesetzt werden.

Prinzipskizze einer Sprühpistole für Pulverlacke

Prinzip der Korona-Sprühsysteme (oben) und der Tribo-Sprühsyteme (unten)

Quelle: Fraunhofer IPA, Stuttgart

Nach dem Beschichten wird das Bauteil in einem Einbrennofen erhitzt. Hierbei sind zum einen die Objekttemperatur des Bauteiles sowie die **Haltezeit** der Temperatur prozessrelevante Größen, da nur so eine optimale Haftung am Bauteil sowie optimale Eigenschaften der Pulverbeschichtung erreicht werden. In der Regel werden Beschichtungen bei einer Objekttemperatur von ca. 180 °C und einer Haltezeit von ca. 10 Min. ausgehärtet.

Vorteile des Verfahrens

Dieses Verfahren hat in den letzten Jahren die Nasslackierung im industriellen und handwerklichen Bereich teilweise verdrängt. Die Vorteile sind:

1. Keine Umwelt- und Gesundheitsbelastung durch Lösemittel (Pulverlackieranlagen sind somit nicht von der Lösemittelverordnung betroffen)

2. Geringe Abfälle an Pulverlack bei Anwendung von Kreislauftechniken
3. Kein Abwasser
4. Hochbeanspruchbare Beschichtungen im Einschichtauftrag erzielbar
5. Alle Bauteile sind nach dem Auskühlen sofort montagefähig bzw. weiterbearbeitbar
6. Mögliche Senkung der Stückkosten der Bauteile, u. a. durch Personalkostenreduzierung (gute Automatisierungsmöglichkeiten, einfacher durchführbare manuelle Beschichtung), geringere Entsorgungs- und Wartungskosten, Energieeinsparung bei Luftkreislaufführung in der Pulverkabine

Bild: Beispiel für eine Pulverbeschichtung

Quelle: Blöcher Oberflächentechnik GmbH, Eschenburg-Simmersbach

Maßnahmen zur Verringerung von Emissionen und Arbeitsschutz

Lackierverfahren sind umweltrelevante Technologien. Aus den meisten Lacken werden bei der Verarbeitung Lösemittel freigesetzt. Darüber hinaus fallen Lackverluste (z. B. als Overspray bei der Spritzlackierung, als Abtropfverluste beim Tauchlackieren usw.) an, die meistens als **gefährliche Abfälle** (**Sonderabfälle**) entsorgt werden müssen. Bei der Nassauswaschung von Lackoverspray entsteht Abwasser, das gereinigt bzw. entsorgt werden muss.

Reduzierung von luftseitigen Emissionen

Die 31. BImSchV (Lösemittelverordnung) macht klare Vorgaben hinsichtlich der zulässigen Emissionen von Lackierbetrieben. In der Metalllackierung sind alle Prozesse von der Reinigung über die Lackierung bis zur Trocknung von der Vorschrift betroffen, soweit die Mengenschwelle an verbrauchten Lösemitteln von üblicherweise 5 t/a (vgl. Anhang I) überschritten wird. Der jährliche Lösemittelverbrauch ist über eine Lösemittelbilanz aller eingesetzter lösemittelhaltiger Produkte zu ermitteln.

Die zulässigen Emissionsgrenzwerte (Anhang III) können bei Erfordernis durch den Einsatz einer aufwändigen Reinigung der lösemittelhaltigen Abluft eingehalten werden. Alternativ kann ein Lösemittelreduzierungsplan entsprechend Anhang IV mit dem Ziel, lösemittelarme Lacke einzusetzen, zur Anwendung gebracht werden. Dies ist zulässig, wenn die Verminderung der Lösemittelemission durch den Reduktionsplan dem entspricht, was durch die Abgasreinigung erzielt werden könnte.

Im Lackierbereich bietet sich ein Lösemittelreduzierungsplan in vielen Fällen an, insbesondere über die Umstellung auf lösemittelarme Lacksysteme oder auf Pulverlacke. Weitere Informationen finden Sie auf der Seite Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Beschichtungsstoffe > Emissionen.

Arbeitsschutz

Maßnahmen zum Arbeitsschutz sind auf der Seite Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Beschichtungsstoffe > Arbeitsschutz beschrieben.

Feuerverzinken

Unter Feuerverzinken versteht man das Aufbringen von Zinküberzügen aus der Schmelze auf Stahlteile, um sie vor Korrosion zu schützen.

Verfahren

Vor dem Feuerverzinken werden die Stahlteile in wässrigen Systemen gereinigt und entfettet. Anschließend werden die Teile von Rost und Zunder befreit. Hierzu werden saure Beizbäder (Salzsäure) eingesetzt.

Bild Feuerverzinken

Quelle: Institut für Feuerverzinken, Düsseldorf; weitere Informationen unter www.feuerverzinken.com

Um eine optimale Benetzung der Stahlteile mit dem schmelzflüssigen Zink zu gewährleisten werden sie mit **Flussmitteln** behandelt. Es handelt sich hier in der Regel um Ammonium- und Zinkchlorid. Bei der Feuerverzinkung verdampfen die Flussmittel und müssen als staubförmige Emissionen über Filteranlagen abgeschieden werden.

Maßnahmen zur Verbesserung des Umweltschutzes

- **Bei Entfettungs-, Beiz- und Spülbädern sind standszeitverlängernde Maßnahmen sinnvoll.** Verschleppungen durch Bauteile können z. B. durch ausreichende Abtropfzeiten verringert werden. Bei Entfettungsbädern können aufschwimmende Öle z. B. durch Skimmer entfernt werden.
- **Altbeizen** können, soweit sie nicht mit anderen Abwässern vermischt sind, thermisch regeneriert werden.
- In **Flussmittelbädern reichern sich Eisensalze aus den Beizbädern** an. Daher müssen sie regelmäßig "nachgeschärft" und ggf. ausgetauscht werden
- **Flussmittelbäder können regeneriert** und im Kreislauf gefahren werden
- **Zinkhaltige Abfälle**, wie Zinkasche, Hartzink und verspritztes Zink **können vermindert werden**, z.B. durch Überwachung der Zinkkesseltemperatur, Verwendung raucharmer Flussmittel, vollständige Trocknung der Werkstücke und durch eine Verringerung der Salzkonzentration im **Fluxbad**.

Hinweise zum Arbeitsschutz ZH 1/411 - Richtlinien für das Feuerverzinken können über die **Datenbank** der Berufsgenossenschaft heruntergeladen werden.

Weitere Informationen zum Feuerverzinken sind über das Internetportal des Instituts für Feuerverzinken, Düsseldorf verfügbar.

CVD- und PVD-Verfahren

Mittels PVD- (PVD - Physical Vapour Deposition) und CVD-Verfahren (CVD - Chemical Vapour Deposition) können besonders dünne Schichten auf Oberflächen abgeschieden werden. Die Anwendungsgebiete liegen vor allem im Werkzeugbau zur Herstellung langlebiger Werkzeuge mit verschleißfesten Oberflächenbeschichtungen. Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Herstellung besonders reibungsarmer Oberflächen für schmierstofffreie Maschinen, z. B. im Lebensmittelbereich.

Beiden Verfahren ist gemeinsam, dass die Beschichtungsmaterialien aus der Dampfphase auf der Werkstückoberfläche (Substrat) abgeschieden werden.

Beim PVD-Verfahren wird das Beschichtungsmaterial über die physikalischen Vorgänge des Verdampfens (mit Lichtbogen ("Arc") oder Elektronenstrahl) oder der Kathodenzerstäubung im Hochvakuum in die Dampfphase übergeführt und anschließend auf einem geeigneten Substrat wieder niedergeschlagen. Die dabei erzeugten Schichtdicken auf Werkzeugen und Bauteilen bewegen sich zwischen 0,1 µm und ca. 15 µm.

Beim CVD-Verfahren handelt es sich um die Abscheidung von Feststoffen aus der Gasphase, wobei die Gasphase im Gegensatz zu den PVD-Verfahren auf chemischem Weg erzeugt wird. Man macht sich dabei zunutze, dass flüchtige Verbindungen unter Zuführung von Wärme chemisch reagieren und als Schicht kondensieren.

Seit 1960 wird die relativ aufwendige Verfahrenstechnik zur industriellen Herstellung, insbesondere von Verschleißschutzschichten, angewendet.

Die Verfahren sind praktisch abfallfrei. Sie sind jedoch vergleichsweise energieintensiv, da in der Regel bei hohen Temperaturen gearbeitet wird und der Beschichtungsstoff zunächst in die Gasphase überführt werden muss.

PVD-Anlage

Quelle: GPA Anlagentechnik / Fraunhofer IPA

Fügeverfahren

Trotz der immer weiter entwickelten Möglichkeiten zur Herstellung komplexer Werkstückgeometrien mittels spanender und umformender Prozesse haben Fügeverfahren in metallverarbeitenden Branchen nach wie vor eine große Bedeutung.

Neben den technologischen Anforderungen sollten bei der Auswahl der Fügeverfahren auch die Anforderungen des Umweltschutzes berücksichtigt werden. Umweltschonende Verfahren wie Verschrauben, Nieten sowie formschlüssige Verbindungen allgemein sollten bei der Produktentwicklung auch wegen der besseren Reparatur- und Demontagefreundlichkeit bevorzugt eingesetzt werden.

Betrachtet man Umweltaspekte über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts (Life Cycle Analysis, LCA) und bezieht zudem die Reparaturfreundlichkeit sowie Demontage- und Verwertungsmöglichkeiten bei der Entsorgung mit ein, so haben form- und kraftschlüssige, also wieder lösbare Verbindungen, deutliche Vorteile.

Grafik: Einteilung der Fügeverfahren

Quelle: Industrieverband Klebstoffe e.V.

Die Palette der eingesetzten Fügeverfahren ist groß. Im Rahmen dieser Internetplattform wird daher nur auf Verfahren eingegangen, die eine besondere Relevanz bezüglich Umwelt- oder Arbeitsschutz aufweisen:

- Lötverfahren
- Klebverfahren
- Schweißverfahren

Bei diesen Fügeverfahren werden generell Zusatz- und Hilfsstoffe (Lot, Klebstoff, Schweißelektrode usw.) eingesetzt, deren Verarbeitung meist bei höheren Temperaturen erfolgt. Die hierbei entstehenden Emissionen (Gase, Dämpfe, Rauche) sind insbesondere unter dem Aspekt des Arbeitsschutzes von Bedeutung.

Vermeidung von Umweltrisiken

Achten Sie bei den verarbeiteten Zusatz- und Hilfsstoffen auf möglichst umweltgerechte und humanverträgliche Inhaltsstoffe. Stellen Sie sicher, dass keine verbotenen oder mit unbekannten Umweltrisiken behafteten Komponenten in den Hilfs- und Zusatzstoffen enthalten sind.

Auch Stoffe mit Verwendungsbeschränkungen sollten nach Möglichkeit nicht enthalten sein, bzw. durch umweltfreundlichere Stoffe ersetzt werden. Die Informationsbasis hierzu bilden aussagefähige und aktuelle EG-Sicherheitsdatenblätter, die Sie für alle verwendeten Hilfs- oder Zusatzstoffe vorliegen haben sollten.

Löten

Insbesondere beim Verarbeiten von Buntmetallen und im Elektrogewerbe ist das Löten zum Herstellen einer verfahrenstechnisch einfachen metallischen Verbindung ein häufig eingesetztes Verfahren. Die Lote weisen einen deutlich niedrigeren Schmelzpunkt auf als der Grundwerkstoff. Umweltrelevant sind

- die Lote selbst durch die enthaltenen niedrig schmelzenden Metalle (insbesondere Blei), und die bei der Verarbeitung entstehenden Metalldämpfe sowie bei der späteren Entsorgung von gelöteten Bauteilen und Geräten,
- die zur Entfernung von Oxidschichten erforderlichen **Flussmittel**.

Foto: Handlötarbeitsplatz mit Absaugung

Quelle: BGI 593

Belastend für den Mitarbeiter sind die beim Löten entstehenden Dämpfe aus Flussmitteln und Loten. Gefährdet ist der Löter besonders beim Handlöten mit unzureichender oder fehlender Absaugung. Für das Löten sind folgende arbeitsschutzrechtliche Vorschriften wesentlich:

- die TRGS 528 "Schweißtechnische Arbeiten",
- die **BGR 220** "Schweißrauche",
- die BGR 500 "Betreiben von Arbeitsmitteln", Kapitel 2.26 "Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren" (Inhalte aus der ehemaligen BGV D1) und
- die BGI 593 "Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren".

Tabelle: Schadstoffe beim Löten

Lote			Schadstoffe
Anwendungs-gebiet	**Lotart**	**Flussmittel** (Flussmittelbasis)	(Liste der möglicher-weise entstehenden Schadstoffe)
Weichlöten (Temp. < 450 °C)			
Schwermetalle	A) antimonhaltige, antimonarme und antimonfreie **Blei-Zinn** und **Zinn-Blei**- Weichlote B) **Zinn-Blei**-Weich-lote mit Kupfer-, Silber- oder Phosphor-Zusatz C) Sonderweichlote mit z.T erhöhten Anteilen an **Cadmium** und **Silber**	1) Zink- und andere Metallchloride, und/oder Ammoniumchlorid (in wässriger Lösung oder organischer Zubereitung) 2) organische Säuren, z.B. Zitronen-, Öl-, Stearin-, Benzoesäure 3) Amine, Diamine und Harnstoff 4) organische Halogenverbindungen 5) natürliche Harze (Kolophonium) oder modifizierte natürliche Harze mit und ohne Zusatz von organischen und/oder halogenhaltigen Aktivatoren	Bromwasserstoff Bleioxid Chlorwasserstoff Formaldehyd Hydrazin Kolophonium anorganische Zinn-Verbindungen organische Zinn-Verbindungen
Leichtmetalle	D) Weichlote auf der Basis von:	6) Chloride und Fluoride 7) Zink- und/oder Zinnchlorid	
	a) **Zinn-Zink** b) **Zink Cadmium** c) **Zink-Aluminium**	8) rein organische Verbindungen, z.B. Amine 9) organische Halogenverbindungen	
Hartlöten (Temp. ≥ 450 °C)			
Schwermetalle	A) Kupferbasislote B) **silberhaltige** Lote mit weniger als 20 % Ag C) **silberhaltige** Lote mit mindestens 20 % Ag	1) Borverbindungen mit Zusätzen von einfachen und komplexen Fluoriden, Phosphaten sowie Silikaten 2) borfreie Flussmittel, überwiegend aus Chloriden und Fluoriden	Boroxid Bortrifluorid Cadmiumoxid Fluoride Kupferoxid Phosphorpentoxid Silberoxid Zinkoxid
Leichtmetalle	D) **Aluminiumbasis-lote** E) **Nickelbasislote**	3) hygroskopische Chloride und Fluoride sowie nicht hygroskopische Fluoride	

Quelle: BGI 593

Um ihre Aufgabe zu erfüllen (Oxidschichten lösen und weitere Oxidation verhindern), müssen Flussmittel aggressiv sein. Beim Umgang mit flüssigen Flussmitteln ist auf guten Hautschutz zu achten. Generell ist für eine Absaugung und/oder eine ausreichende Lüftung zu sorgen. Die von den Arbeitsplätzen abgesaugte Luft sollte nicht zurückgeführt, sondern ins Freie abgeleitet werden.

Es gibt über 300 Arten von Flussmitteln mit unterschiedlicher chemischer Basis (z. B. anorganische Säuren oder Salze, organische Fette). Manche dieser Mittel enthalten Hydrazin, ein im Tierversuch krebserzeugender Stoff. Auf diese Flussmittel sollte verzichtet werden. Möglichst zu vermeiden sind auch kolophoniumhaltige Stoffe, da sie beim Erhitzen Formaldehyd freisetzen. Formaldehyd steht im Verdacht, Krebs zu erzeugen. Enthält das Flussmittel Fluoride und Flusssäure, so sind Haut, Augen und Schleimhäute unbedingt zu schützen (s. auch Merkblatt BGI 576 der Berufsgenossenschaft "Fluorwasserstoffe, Flusssäure und anorganische Fluoride").

Besonders problematisch ist das Hartlöten mit cadmiumhaltigen Loten, denn selbst beim sachgerechten Löten entsteht Cadmiumoxidrauch (im Tierversuch krebserzeugend). Cadmiumhaltige Hartlote sollten durch cadmiumfreie ersetzt werden, auch wenn sie teilweise teurer sind oder mit ihnen nicht immer dieselbe "löttechnische Eleganz" erzielt werden kann.

Löten mit bleihaltigem Lot ist nur bei Überhitzungen wegen der möglichen Freisetzung von Bleidämpfen gefährlich. Generell sollten Überhitzungen vermieden und Löttemperaturen so niedrig wie möglich gehalten werden. Wichtig ist eine gute Absaugung unmittelbar am Entstehungsort (z.B. Lötlampe mit Absaugung).

Umweltproblematik bei der Entsorgung

Die **Entsorgung** gelöteter Bauteile sowie von Anlagen und Geräten, in denen gelötete Bauteile enthalten sind, ist wegen der enthaltenen Schwermetalle grundsätzlich problematisch. Schwermetalle, insbesondere Blei und Cadmium, erschweren einerseits die Verwertung in der Sekundärmetallurgie, andererseits beinhalten sie auch bei der Abfallverbrennung und der Deponierung zusätzliche Umweltrisiken. EU-weit wird daher die Verwendung von Blei und Cadmium stark eingeschränkt bzw. verboten.

Mit Inkrafttreten der Altfahrzeug-Verordnung und des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes wurde die Verwendung blei- und cadmiumhaltiger Lote bis auf wenige Ausnahmen verboten. Die Stoffverbote auf Basis des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes traten am 1. Juli 2006 in Kraft. Nähere Informationen finden Sie im Bereich Wichtig für alle Branchen > Produktverantwortung > Elektronikaltgeräte > Umsetzung Stoffverbote.

Bleifreies Löten

Im Hinblick auf die anstehenden Stoffverbote wurden - insbesondere für Anwendungen im Bereich Elektronik und Elektrotechnik - bleifreie Lote, meist auf Silberbasis, entwickelt. Deren Anwendung erfordert in der Regel höhere Löttemperaturen, so dass die Temperaturbeständigkeit der zu verlötenden Bauteile geprüft werden muss. Weitere Informationen und einen Leitfaden Bleifreies Löten finden sie bei KERP - Kompetenzzentrum für Elektro(nik)altgeräte-Recycling und nachhaltige Produktentwicklung sowie in einer Produktinformation der Weller/Cooper Tools GmbH. Wenn Sie die Realisierbarkeit bleifreier Lötverfahren für Ihre Produkte prüfen wollen, so finden Sie eine Hilfe zur systematischen Vorgehensweise in der Checkliste Bleifrei Löten.

Meist müssen die Bauteile nach dem Lötprozess von Flussmittelresten gereinigt werden. Hierzu werden sowohl wässrige Reinigungsbäder als auch nicht halogenierte Lösemittel eingesetzt. Wenn die Reinigungsbäder erschöpft oder verbraucht sind, müssen sie als **gefährlicher Abfall** (Sonderabfall) entsorgt werden. Neben den Reinigungsmedien enthalten sie auch Reste der verwendeten Flussmittel, was bei einer eventuellen Abwasserbehandlung sowie entsorgungsseitig berücksichtigt werden muss.

Umweltfreundlichere Verfahrensalternativen

Lötverbindungen sollten nach Möglichkeit durch andere, qualitativ gleichwertige Verbindungstechniken ersetzt werden, die weniger Arbeitsschutz- und Entsorgungsprobleme hervorrufen. Exemplarische Beispiele sind:

- Punktschweißen bei Blechverbindungen
- Reibschweißen bei rotationssymmetrischen Teilen und
- Schraubverbindungen bei Rohren.

Schweißen und Schneiden

Schweißverfahren werden im metallverarbeitenden und Elektrogewerbe in verschiedenen Bereichen, von Fügeaufgaben über Trennschweißen bis zum Auftragsschweißen, eingesetzt. Je nach Aufgabe und Verfahrensvariante werden der metallische Grundwerkstoff sowie eventuell eingesetzte Zusatzstoffe aufgeschmolzen, sodass neben den entstehenden Schweißrauchen, -dämpfen und -gasen auch noch Strahlung, hohe Temperaturen und ggf. Lärm auftreten. Zusätzlich zu den technologischen Aspekten (das Schweißverfahren muss für den Anwendungsfall geeignet sein) muss daher den luftseitigen **Emissionen** besonderes Augenmerk gewidmet werden. Die Abfall- und Abwasserrelevanz dieser Verfahren ist gering.

Vorschriften zum Arbeitsschutz bei Schweißarbeiten enthalten

- die TRGS 528 "Schweißtechnische Arbeiten",
- die TRGS 560 "Luftrückführung bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden, erbgutverändernden und fruchtbarkeitsgefährdenden Stäuben",
- die **BGR 220** "Schweißrauche",
- die BGR 500 "Betreiben von Arbeitsmitteln", Kapitel 2.26 "Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren" (Inhalte aus der ehemaligen BGV D1) und
- die BGI 593 "Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren".

Weitere Informationsquellen sind die Merkblätter des Deutschen Verbandes für Schweißtechnik sowie die VDI-Richtlinie 2084 "Schweißräume und Schweißplätze".

Für stationäre Schweißanlagen und für Schweißarbeiten, die mit Gefahren für die Mitarbeiter verbunden sind, sind Betriebsanweisungen zu erstellen.

Elektro- und Autogenschweißen

Insbesondere beim konventionellen Elektroschweißen werden neben dem Elektrodenwerkstoff noch Hilfsstoffe (umhüllte Stabelektroden) mit aufgeschmolzen, weshalb die Emissionen besonders hoch sind. Beim Schweißen unter Schutzgas tritt diese Zusatzbelastung nicht auf, sodass diesem Verfahren nach Möglichkeit der Vorzug zu geben ist. Beim Trennschweißen, das vorwiegend im Außenbereich und bei sonst unzugänglichen Stellen eingesetzt wird, sind alternative Trennverfahren (z. B. Hydraulikscheren, Sägen) in Erwägung zu ziehen.

Foto: Handschweißarbeitsplatz mit Absaugung

Quelle: VMBG, Berufsgenossenschaftliche Information BGI 593

Laserstrahlschweißen und -schneiden

Die Vorteile des Laserstrahlschweißens liegen bei der genauen Positionier- und Dosierbarkeit, verbunden mit guten Automatisierungsmöglichkeiten. Insbesondere bei hohen Genauigkeitsanforderungen und kleinen Bauteilen wird dieses Verfahren in den letzten Jahren zunehmend zum Schneiden und Fügen angewandt. Bezüglich der entstehenden Emissionen wurde in einer Untersuchung festgestellt, dass die beim Laserschneiden von metallischen Werkstoffen entstehenden Partikel (Aerosole) überwiegend (ca. 70–90%) lungengängig sind (BGI 593). Eine Kapselung oder eine Absaugung an der Entstehungsstelle ist daher unbedingt erforderlich. Zur Partikelabscheidung werden häufig Sinterlamellenfilter (Polyethylenkörper mit Teflonbeschichtung) verwendet. Gewebefilter reichen in der Regel nicht aus. Die Menge der Schadstoffe, so der Untersuchungsbericht, hängt von der Schnittgeschwindigkeit und dem Schneidgasdruck ab.

Eine weitere Gefahrenquelle beim Laserschneiden ist die Laserstrahlung. Lasereinrichtungen, deren Strahlung für das Auge oder die Haut gefährlich ist (Lasereinrichtungen der Klassen 3B und 4), müssen der Berufsgenossenschaft und der Gewerbeaufsicht angezeigt werden. Der Unternehmer muss für diese Einrichtungen einen Laserschutzbeauftragten bestellen.

Als Alternative zum Laserstrahlschneiden steht bei geringen Materialstärken das Wasserstrahlschneiden zur Diskussion. Abgesehen von den technischen Einsatzgrenzen weist dieses Verfahren wegen der höheren Lärmbelastung, der größeren Abfall- (Schlamm aus Abrieb und Strahlmittel) und Abwasserproblematik (Kreislaufwasser mit Metallen und ggf. Schwermetallen belastet) aus ökologischer Sicht keine Vorteile auf.

Die zur Vermeidung gesundheitsgefährdender Belastungen der Atemluft beim Schweißen und Schneiden erforderlichen Maßnahmen können anhand der Vorschriften von jedem Betrieb eigenständig bestimmt und realisiert werden.

Lehren aus Brandschäden beim Schneiden: An das Unmögliche denken – Kettenreaktionen führen immer wieder zu Katastrophen

Bei Schweißarbeiten kommt es immer wieder zu Brandschäden, die durch eine Kettenreaktion von Ereignissen ausgelöst werden. Wer sich als Unternehmer oder Brandschutzbeauftragter in seinem Betrieb mit möglichen Risiken auseinandersetzt, sollte daher verschiedene Szenarien durchspielen – und stets vom schlimmsten Fall ausgehen.

Ein mögliches Szenario könnte so aussehen: Bei Montagearbeiten sollen einzelne Bleche mit einem Schneidbrenner herausgetrennt werden. Dabei fallen von der Arbeitsbühne glühende Teile oder Funken auf eine darunter stehende Maschine und bringen Plastikteile zum Schmelzen. Die Schmelzprodukte entzünden sich und setzen das Gummi eines Förderbandes in Brand. Verursacht durch die große Hitze explodiert zudem eine Gasflasche. Stichflammen lodern auf. Gleichzeitig entwickelt sich starker Rauch, der für alle Anwesenden die größte Gefahr darstellt, da sie binnen Sekunden die Orientierung verlieren und durch das Einatmen der giftigen Rauchgase ersticken können. Die Feuerwehr braucht dann Stunden oder sogar Tage, um den Brand unter Kontrolle zu bringen.

Beim Umgang mit Schweißgeräten und Schneidbrennern müssen nach den Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften besondere Vorkehrungen getroffen werden, wozu eine räumliche Abtrennung der Baustelle sowie das Aufstellen von Brandposten und Brandwachen gehört. Ansprechpartner sind in solchen oder ähnlichen Fällen, bei denen Unklarheit über die zu treffenden Maßnahmen besteht, die qualifizierten Brandschutz-Fachbetriebe. Deren lokale Adressen finden Sie auch im Internet auf der Homepage des Bundesverbands Brandschutz-Fachbetriebe e. V. bvbf .

Kleben

Insbesondere bei großflächigen Metallverbindungen sowie bei Verbindungen von Metallen mit anderen Werkstoffen wie Kunststoffen werden verstärkt Klebeverfahren, im Metallgewerbe meist mit Zweikomponentenklebstoffen, eingesetzt. Insbesondere im Fahrzeugbau und in der Elektrotechnik haben sich Klebverbindungen mit einem breiten Anwendungsspektrum etabliert.

Quelle: Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf

Im Hinblick auf den Arbeitsschutz sind insbesondere Emissionen von unausgehärteten Klebstoffkomponenten zu berücksichtigen und schädigende Wirkungen bei Hautkontakten (z. B. ätzende Wirkung) zu beachten. Sowohl bei entstehenden Lösemitteldämpfen als auch für Monomere ist für eine möglichst geringe Belastung der Mitarbeiter zu sorgen.

Klebstoffe sind meist als **Gefahrstoffe** eingestuft. Für Klebstoff gelten daher in der Regel die Technischen Regeln für Gefahrstoffe. Grundlegende Festlegungen werden durch die TRGS 400 und die TRGS 500 getroffen. Informationen zur Substitution gefährlicher Stoffe finden Sie in der **TRGS 600**. Weitere umweltrechtliche Aspekte beim Einsatz von Klebstoffen sind auf der Homepage des Industrieverband Klebstoffe e.V. verfügbar.

Entsorgung

Verbundwerkstoffe, d. h. aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehende, verklebte Bauteile oder Produkte, sind oft schwierig stofflich zu verwerten. Dies sollte bereits bei der Entwicklung berücksichtigt werden, indem möglichst auf andere, einfach lösbare Verbindungstechniken zurückgegriffen wird.

Lösemittelhaltige Klebstoffe sind als gefährlicher Abfall (Sonderabfall) zu entsorgen. Dies gilt auch für die einzelnen Komponenten von Zweikomponentenklebern. In ausgehärtetem (ausreagiertem) Zustand können Klebstoffreste in der Regel als hausmüllähnlicher Gewerbeabfall entsorgt werden.

Eloxieren

Aluminiumwerkstoffe überziehen sich an freier Atmosphäre sehr schnell mit einer natürlichen Aluminiumoxid-Schicht. Diese sehr dünne und meist auch unregelmäßige Schicht bietet für die meisten Anwendungsfälle jedoch keinen ausreichenden Schutz. In der Praxis wird daher ein Großteil der Aluminium-Bauteile mit einem zusätzlichen Oberflächenschutz versehen.

Zur Oberflächenbehandlung von Aluminium-Bauteilen werden im Wesentlichen folgende Verfahren eingesetzt:

- Aufbringen einer Lackschicht. Auf die verschiedenen Verfahren wird im Bereich Produktionsverfahren > Beschichtungsverfahren > Lackieren eingegangen.
- Aufbringen eines metallischen Überzugs. Die galvanischen Prozesse werden im Kapitel Metallbearbeitung > Galvanotechnik beschrieben
- Verstärken der natürlichen Oxidschicht durch Eloxieren

Das Eloxieren (ELektrolytische OXidation von Aluminium) ist ein elektrochemisches Verfahren, bei dem mittels anodischer Oxidation eine künstliche, sehr harte Aluminiumdioxid-Schicht erzeugt wird, die in der Regel mehr als 1000-fach dicker ist als die natürliche Schicht.

Foto: Typisches Teilespektrum eloxierter Produkte

Quelle: Fa. Jösel Metallveredelung, Mühlacker-Enzberg

Gegenüber unbehandelten Oberflächen bieten eloxierte Aluminium-Bauteile insbesondere folgende Vorteile:

- gute und dauerhafte Korrosionsbeständigkeit
- hohe Abrieb- und Verschleißfestigkeit
- gute chemische Beständigkeit
- ansprechende Optik mit der Möglichkeit der Farbgebung
- gute Recyclierbarkeit

Das Eloxieren ist somit ein Verfahren der Oberflächenbehandlung, mit dem Aluminium-Bauteile vor Umwelteinflüssen geschützt und durch die harte Schicht das Einsatzspektrum deutlich erweitert bzw. einige technische Anwendungen überhaupt erst ermöglicht werden können. Gegenüber Beschichtungsverfahren mit materialfremden Überzügen (Lacke, metallische Beschichtungen) haben eloxierte Bauteile den Vorteil einer uneingeschränkten Recyclingfähigkeit.

Grafik: Vereinfachtes Verfahrensschema beim Eloxieren

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Arbeitsschutz

In Eloxalbetrieben werden Chemikalien eingesetzt, die oft als Gefahrstoffe eingestuft sind. Es ist daher darauf zu achten, dass von allen verwendeten Stoffen aktuelle Sicherheitsdatenblätter vorliegen. Zum Schutz der Mitarbeiter ist für den sicheren Umgang mit Gefahrstoffen die Erstellung von Betriebsanweisungen und die Durchführung von Unterweisungen gesetzlich vorgeschrieben. Informationen hierzu finden Sie im Bereich Recht > Betriebs- und Anlagensicherheit > Betriebssicherheit > Betriebsanweisung.

Grafik: Rohrleitungssystem zur Medienversorgung in einem Eloxalbetrieb

Quelle: Fa. König Metallveredelung, Lauchringen

Brand- und Explosionsschutz

Ein ebenso wichtiges Thema ist ein umfassender Brand- und Explosionsschutz. Insbesondere von den elektrischen Anlagen geht, bedingt durch die hohen elektrischen Ströme, eine nicht zu unterschätzende Brandgefahr aus. Treffen Sie daher präventive Maßnahmen (z. B. keine Lagerung von leicht entzündlichen Stoffen in unmittelbarer Nähe von elektrischen Anlagen) und sorgen Sie für geeignete Sicherheitsmaßnahmen für den Brandfall (Brandschutzplan, Brandmeldeeinrichtungen, Löscheinrichtungen). Explosionsgefahren resultieren insbesondere aus der Wasserstoffentwicklung, die bei Beizprozessen sowie beim eigentlichen Eloxierprozess auftreten können. Die entsprechenden Bäder müssen schon aus diesem Grund mit einer wirksamen Absaugung versehen sein. Zudem sollte im Dachbereich für gute Lüftung gesorgt sein. Für die betroffenen Bereiche ist ein Explosionsschutzdokument (Vorgaben siehe § 6 der Betriebssicherheitsverordnung) zu erstellen. Die Anforderungen im Bereich Explosionsschutz finden Sie im Bereich Rechtsgrundlagen > Betriebs- und Anlagensicherheit > Betriebssicherheit > Explosionsgefährdete Bereiche.

Ansatzpunkte zur Verbesserung der betrieblichen Umweltsituation

Wie das oben stehende Prozessschema bereits verdeutlicht liegen die wesentlichen Umweltauswirkungen beim Eloxierverfahren im Bereich der Abwässer und der Abwasserbehandlung. Einige Prozessschritte sind zudem mit luftseitigen Emissionen (Gase und Dämpfe) verbunden, so dass Maßnahmen zum Arbeits- und Umweltschutz zu beachten sind. Beheizte Bäder und der Kernprozess sind zudem energieintensiv. Die wichtigsten Ansatzpunkte sind:

- Reduzierung von Verschleppungen: Austräge von Flüssigkeiten in das nächste Bad bedeuten nicht nur Chemikalienverluste sondern auch kürzere Badstandzeiten und Abwasserbehandlungskosten.
- Reduzierung des Wasserverbrauchs: Mit optimierter Spültechnik lassen sich Wasser- und Chemikalienverbrauch deutlich reduzieren.
- Optimierung des Energieeinsatzes: Der eigentliche Eloxierprozess sowie beheizte Bäder sind große Energieverbraucher, wo es sich lohnt genauer hinzuschauen.

Auf konkrete Ansatzpunkte bei den jeweiligen Prozessstufen wird in den nachfolgenden Kapiteln eingegangen.

Beispiel für ein Alternativverfahren zur umweltschonenden Oberflächenbeschichtung von Aluminium-Bauteilen

Insbesondere für die Anwendung bei großen Durchsätzen bietet das Sputtern eine umweltschonende Alternative zur Beschichtung von Aluminium-Bandmaterialien. Bei einem Anwendungsbeispiel zur Beschichtung von Aluminiumreflektoren für die Lampenindustrie konnte im Vergleich zum Eloxieren der Energiebedarf halbiert und im Vakuumverfahren auf die Chemische Entfettung verzichtet werden. Zudem ist der Prozess abwasser- und abluftfrei. Als wesentlicher Effekt konnte mit diesem Verfahren der Reflexionsgrad der Oberfläche um 10 bis 15 % verbessert werden, was die Lichtausbeute verbessert und damit den erforderlichen Strombedarf der Leuchten reduziert. Den zusammenfassenden Ergebnisbericht zum BMU-geförderten Demonstrationsprojekt „Energieeffiziente Beleuchtung durch neues Beschichtungsverfahren“ können Sie hier (pdf 900 kB) als pdf-Datei runterladen.

Verfahren zur Vorbehandlung

Vor dem eigentlichen Eloxierprozess muss die Oberfläche der zu behandelnden Teile vollständig gereinigt (entfettet und gebeizt) werden. Zudem sollte sie aus optischen Gründen eine gleichmäßige Beschaffenheit aufweisen. Da alle Oberflächenstrukturen in der Eloxalschicht eins zu eins übertragen werden, wird häufig die Möglichkeit genutzt dem Bauteil eine bestimmte Oberflächenstruktur zu geben. Hierzu werden Verfahren wie Bürsten, Schleifen oder Strahlen eingesetzt.

Foto: Die vorbehandelten Teile müssen zum Eloxieren manuell aufgespannt werden

Quelle: Fa. Jösel Metallveredelung, Mühlacker-Enzberg

Verfahren zur Oberflächenreinigung und -aktivierung

Sind die zu behandelnden Teile mit Ölen oder Fetten behaftet, so muss dem Beizprozess noch ein separater Entfettungsprozess vorgeschaltet werden. Reinigungsverfahren für die Metallbranche werden übergreifend im Kapitel Metallbearbeitung > Reinigen behandelt.

Optimierungshinweis: Je sauberer die zu eloxierenden Teile sind, desto geringer ist der Reinigungsaufwand. Saubere Teile bedeuten längere Standzeiten der Vorbehandlungsbäder und damit geringere Chemikalien- und Entsorgungskosten. Vorher mechanisch bearbeitete Teile sind oft mit Kühlschmierstoffen (Öle, Emulsionen) behaftet. Diese Anhaftungen sollten so gering wie möglich sein. Mit Trockenbearbeitung/MMS ließen sie sich nahezu komplett vermeiden.

Möglichkeiten zur Reduzierung des Öl- und Fetteintrags

- Einsatz von leichtflüchtigen Schmiermitteln
- Einsatz von Trockenbearbeitung/MMS
- Abtropfen lassen oder Zentrifugieren der Werkstücke (Öle können zurückgewonnen werden)
- Vorreinigung der Werkstücke außerhalb der oberflächentechnischen Anlage

Der diesbezügliche Kontakt und Informationsaustausch mit den Zulieferern bzw. Kunden ist insbesondere für Lohneloxierbetriebe wichtig.

Eloxierprozesse sind nasschemische Prozesse, daher sollte auch das Entfettungsbad nach Möglichkeit ein wässriges System sein. Ein Systemwechsel (z. B. von einem Lösemittelreiniger) ist immer mit Zusatzaufwand und zusätzlichen Abfällen und Emissionen verbunden. Über diesen Link gelangen Sie direkt zur Seite wässrige Reinigungsverfahren. Organische Lösemittel, insbesondere CKW sollten nur in begründeten Ausnahmefällen angewendet werden.

Energietipp: Heiße Entfettungsbäder benötigen viel Energie. Prüfen Sie die Einsatzmöglichkeiten von Niedertemperatur-Reinigern, die teilweise bereits ab 30 °C gute Ergebnisse erzielen.

Entsorgungshinweise: Besteht keine Möglichkeit verbrauchte Entfettungsbäder in einer eigenen Abwasserbehandlungsanlage zu behandeln, so müssen sie in der Regel als gefährlicher Abfall (früher Sonderabfall) entsorgt werden. Abfallschlüssel gemäß AVV : 11 01 13* Abfälle aus der Entfettung, die gefährliche Stoffe enthalten.

Beizen

Zur Oberflächenaktivierung können Säuren und Laugen eingesetzt werden, da Aluminium amphoter, d. h. in beiden Medien löslich ist. Um insbesondere die dünne natürliche Oxidschicht zu entfernen wird in der Regel mit Natronlauge, teilweise auch mit Schwefelsäure gebeizt. Auch der Beizprozess erfolgt meist bei erhöhter Temperatur (ca. 40 - 70 °C), so dass die Möglichkeiten einer Temperaturreduzierung zur Energieeinsparung geprüft werden sollten.

Bei geringer Verschmutzung durch Öle und Fette werden auch kombinierte Beizentfetter eingesetzt. Auf Umweltaspekte bei Beizprozessen von Metallen generell wird auch im Kapitel Metallbearbeitung > Oberflächenvorbehandlung auf der Seite Beizen eingegangen.

Die Beizbäder reichern sich im Prozessverlauf mit gelöstem Aluminium an und es entstehen Lösungen mit aluminiumhaltigen Säuren oder aluminiumhaltigen Laugen. Der Beizmittelverbrauch ist linear von der abgetragenen Metallmenge abhängig. Das Beizvolumen sollte daher auf das erforderliche Minimum beschränkt werden. Verbrauchtes Beizmittel lässt sich durch Nachdosieren mit Frischbeize recht einfach ergänzen. Wird jedoch die Konzentration der durch die Auflösung gebildeten Metallsalze in der Beizlösung zu hoch, lässt sich trotz weiterer Zugabe von frischer Beize kein gutes Beizergebnis mehr erzielen. Verbrauchte Beizbäder können regeneriert werden.

Beispiel: Regenerierung von aluminiumhaltigen alkalischen Beizen durch Kristallisation

Verbrauchte Natronlaugenbeize wird unter Zugabe von Aluminiumhydroxidpartikeln in einen Reaktionsbehälter gegeben. Die Partikel wirken als Kristallisationskeime. Es entsteht Natronlauge und ungelöstes Aluminiumhydroxid, welches abfiltriert werden kann. Die Natronlauge lässt sich mit diesem Verfahren zu über 90 % zurückgewinnen.

Entsorgungshinweise: Ist eine Regenerierung nicht wirtschaftlich oder nicht mehr möglich, so können verbrauchte Beizbäder in der Regel verwertet werden. Kleine Mengen können auch in der betrieblichen Abwasserbehandlungsanlage aufgearbeitet werden. Die Entsorgung muss als gefährlicher Abfall (früher Sonderabfall) erfolgen, je nach Medium unter dem Abfallschlüssel 11 01 05* saure Beizlösungen oder 11 01 06* alkalische Beizlösungen. Aluminiumhydroxid kann in der Ziegel- und Zementindustrie verwertet werden.

Mechanische Vorbehandlungsverfahren zur Herstellung strukturierter Oberflächen

Insbesondere bei dekorativen Aluminiumteilen soll die Oberfläche oft noch mit einer gleichmäßigen und ansprechenden Struktur versehen werden. Dies muss vor dem Eloxierprozess erfolgen. Die gebräuchlichsten Verfahren sind Schleifen, Bürsten und Strahlen.

Im Kapitel Metallbearbeitung > Oberflächenvorbehandlung > Schleifen wird grundsätzlich auf Umweltaspekte bei Schleif- und Gleitschleifprozessen eingegangen. Auch wenn bei der mechanischen Oberflächenbehandlung von zu eloxierenden Aluminiumteilen der Materialabtrag nicht das eigentliche Ziel ist, so entstehen doch feine Aluminiumstäube, die sehr reaktiv sind und zu einer explosionsgefährdeten Atmosphäre führen können. Die beim Schleifen und Bürsten entstehenden Aluminiumstäube müssen daher so abgesaugt werden, dass keine Entzündungs- und Explosionsgefahren bestehen. Auch bei einer Nassbearbeitung sind diese Gefahren zu berücksichtigen, zudem muss bei feuchten Al-Schlämmen mit Wasserstoffbildung gerechnet werden.

Literaturhinweis: Vorgaben und Hinweise zur Vermeidung von Staubbränden und Staubexplosionen beim Schleifen, Bürsten und Polieren von Aluminium enthält die BG-Regel 109.

Die Oberflächenstrukturierung durch Strahlen erfolgt in geschlossenen Strahlkabinen. Je nach gewünschter Oberfläche werden unterschiedliche Strahlmittel eingesetzt, z. B. Korund, Glaskugeln,

Edelstahlkies, Nussschalen. Auf Umweltaspekte bei Strahlprozessen allgemein wird ebenfalls im Kapitel Metallbearbeitung > Oberflächenvorbehandlung > Strahlen eingegangen.

Entsorgungshinweis: Sowohl feuchte Aluminiumschlämme als auch aluminiumhaltige Strahlmittelrückstände können, bei ausreichendem Metallgehalt, metallurgisch verwertet werden.

Eloxalschichten

Erzeugung von Eloxalschichten

Beim ELOXAL-Verfahren (Elektrolytisches Oxidieren von Aluminium) wird auf der metallischen Oberfläche von Aluminium und verschiedenen Aluminium-Legierungen eine harte und verschleißfeste Aluminiumoxidschicht erzeugt. Die **anodische Oxidation** ist ein elektrochemisches Verfahren. Bei ihr wird im Gegensatz zu den galvanischen Überzugsverfahren (Metallbearbeitung > Galvanotechnik > Verfahren > Metallabscheidung) die (meist metallische) Schutzschicht nicht auf dem Werkstück niedergeschlagen, sondern die oberste Metallschicht in eine dichte und harte Aluminiumoxidschicht umgewandelt. Analog anderer galvanischer Prozesse erfolgt die Behandlung in Bädern. Als Elektrolyt werden je nach Verfahrensvariante verschiedene Säuren verwendet.

Die gesamte Umwandlungsreaktion kann mit folgender Formel dargestellt werden:

$$2\ Al + 3\ H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 3\ H_2$$

Im Gegensatz zur Galvanik wird beim Eloxieren die Anode nicht angegriffen oder verbraucht. Heute werden vor allem Schwefelsäure sowie Schwefelsäure-Oxalsäure eingesetzt. Daraus ergeben sich auch die Bezeichnungen für die beiden heute wichtigsten Verfahrensvarianten:

- GS-Verfahren = Gleichstrom-Schwefelsäure-Verfahren: Standard-Verfahren, welches in den meisten Eloxierbetrieben angewendet wird.
- GSX-Verfahren = Gleichstrom-Schwefelsäure-Oxalsäure-Verfahren: Sonderverfahren, da schwierigere Prozessführung. Anwendungsbereiche sind insbesondere in der Luft- und Raumfahrttechnik, da das Verfahren Vorteile bezüglich der Korrosionsresistenz aufweist.

Beide Verfahren haben verfahrenstechnische Vor- und Nachteile. Aus umwelttechnischer Sicht ist das GS-Verfahren zu bevorzugen, da die unvermischte Schwefelsäure besser ergänzt und recycliert werden kann.

Foto: Eloxalbäder

Quelle: Fa. Jösel Metallveredelung, Mühlacker-Enzberg

Die Oxidschicht ist weitgehend transparent. Leichte Farbschattierungen lassen sich über die eingesetzte Säuremischung und die Legierung des Werkstoffs in einem Spektrum von Silber-, Grau- und Bronzetönen variieren. Andere Farben erfordern einen weiteren Prozessschritt zur Einfärbung, auf den auf der folgenden Seite Herstellung farbiger Eloxalschichten eingegangen wird.

Arbeitsschutz

Wie auf der Eingangsseite bereits angeführt sind die beim Eloxieren verwendeten Säuren **Gefahrstoffe** . Es muss daher eine **Betriebsanweisung** erstellt werden und die Mitarbeiter zum richtigen Umgang mit Gefahrstoffen unterwiesen werden. Hilfen zur Vorgehensweise finden Sie im Kapitel Recht > Betriebs- und Anlagensicherheit > Betriebssicherheit > Betriebsanweisung. Beim Eloxierprozess wird an der Kathode Wasserstoff freigesetzt. Zur Vermeidung von Explosionsgefahren müssen die entstehenden Gase abgesaugt und insbesondere in den Dachbereichen für eine gute Belüftung gesorgt werden. Hilfen zur Beurteilung von Explosionsgefahren und zur Erstellung eines Explosionsschutzdokuments finden Sie im Kapitel Rechtsgrundlagen > Betriebs- und Anlagensicherheit > Betriebssicherheit > Explosionsgefährdete Bereiche.

Ansatzpunkte zur Verbesserung der betrieblichen Umweltsituation

Reduzierung von Verschleppungsverlusten

Bei jedem Badwechsel werden über die Werkstücke und die Gestelle durch anhaftende Flüssigkeit Anteile einerseits aus dem Eloxierbad ausgetragen und andererseits in das folgende Bad oder in den Spülprozess eingeschleppt. Hieraus resultieren zwei sowohl umwelttechnisch als auch finanziell relevante Effekte:

1. Verluste an Chemikalien: Die ausgetragenen Anteile müssen nachgefüllt werden. Aus Spülbädern können die Verschleppungen wieder rückgeführt werden (siehe nachfolgende Grafik).
2. Fremdstoffeinträge in das Folgebad: Ist das Folgebad wieder ein aktives Bad, so sind einerseits die ausgetragenen Anteile des vorherigen Aktivbads verloren und andererseits beeinträchtigen sie die Wirkung des Folgebads, so dass dieses vorzeitig ausgetauscht werden muss. Bei Spülprozessen als Folgebad reduzieren die eingetragenen Aktivbadanteile die Spülwirkung. Je nach System wird mehr Frischwasser benötigt oder das Spülbad muss vorzeitig ausgetauscht werden.

Was können Sie tun?

Beim Eloxieren sind die Maßnahmen zur Reduzierung der Austragsverluste im Wesentlichen die Gleichen wie bei den galvanischen Überzugsverfahren. Auf die verschiedenen Ansatzpunkte wird detailliert im Bereich Metallbearbeitung > Galvanotechnik eingegangen. Die wesentlichen Ansatzpunkte sind nachfolgend kurz aufgeführt:

- Konstruktive Maßnahmen wie z. B. Vermeidung von Sacklöchern, Falze oder Spalten aus denen die Flüssigkeit nicht oder nur schlecht ablaufen kann
- Verwendung ablaufoptimierter Gestelle
- Einstellen ausreichender Abtropfzeiten
- Geeignete Positionierung der Teile, so dass der Elektrolyt gut ablaufen kann
- Durch kurze Impulse noch anhaftende Tropfen ablösen

Verbesserung der Energieeffizienz

Eloxierprozesse sind energieaufwändig. Die Energiekosten bei Eloxalbetrieben liegen meist im Bereich von 10 – 20 % des Umsatzes. Die wesentlichen Faktoren sind der Strombedarf für den eigentlichen Eloxierprozess, die Absaugung sowie die Beheizung, teilweise aber auch Kühlung von Anlagen und Prozessbädern.

Viele Ansatzpunkte zur Verringerung des Energiebedarfs sind analog denen in der Galvanik, so dass Sie sich auf der Seite Metallbearbeitung > Galvanotechnik über die wesentlichen Aspekte informieren können. Gute Hinweise und Berechnungsbeispiele enthält auch die Broschüre „Effiziente Energienutzung in der Galvanikindustrie“(pdf, 2 MB) der LfU Bayern.

Optimierung Stromverbrauch

Der Hauptanteil des Strombedarfs entfällt auf die Stromversorgung der Eloxierbäder. Verluste entstehen dabei insbesondere im Gleichrichter sowie durch die Übergangswiderstände an den Kontakten bis zum zu eloxierenden Teil. Moderne Gleichrichter weisen im optimalen Arbeitspunkt Wirkungsgrade von bis zu 90 % auf. Der Gesamtwirkungsgrad der Anlage ist von vielen Faktoren abhängig. Arbeiten im Teillastbereich sind immer ungünstiger.

Foto: Moderne Kältemaschine

Quelle: Fa. König Metallveredelung, Lauchringen

Bei der anodischen Oxidation kommt es an der Aluminiumoberfläche zu einer hohen Wärmeentwicklung, die durch entsprechende Elektrolytumwälzung und Kühlung möglichst schnell von der Oberfläche abgeführt werden muss.

Nutzung von Überschusswärme

Zumindest bei voller Auslastung entsteht bei den Gleichrichtern und in den aktiven Eloxierbädern ein Wärmeüberschuss, der durch Kühlung abgeführt werden muss. Auf der anderen Seite sind oftmals Bäder bei der Vorbehandlung beheizt, z.B. Entfettungs- oder Beizbäder.

Tipp: Prüfen Sie daher, ob Sie durch Wärmetauscher, gegebenenfalls unter Einsatz von Wärmepumpen die überschüssige Wärme nicht zur Beheizung z. B. der Vorbehandlungsbäder nutzen können. Als weitere Wärmequelle bietet sich oftmals noch die Kompressorstation an.

Optimierung von Spülprozessen

Im Verlauf eines Eloxierprozesses sind mehrere Spülprozesse erforderlich, in der Regel nach jedem Aktivbad um Verschleppungen und damit eine Verunreinigung des Folgebads zu vermeiden.

Optimierte Spülprozesse sind ein wesentlicher Ansatzpunkt zur Reduzierung des Frischwasserverbrauchs und der Abwassermenge. Stand der Technik sind Kaskadenspülen und die Rückführung von Wirkstoffen in die Aktivbäder. Bei heißen Prozessbädern mit entsprechenden Verdampfungsverlusten hat sich auch die Sprühspülung über dem Prozessbad bewährt. Dabei wird ein Großteil des an den Teilen anhaftenden Elektrolyts direkt in das Aktivbad zurückgeführt und zudem Verdampfungsverluste ausgeglichen.

Auf die verschiedenen Varianten wassersparender Spülverfahren wird detailliert im Bereich Metallbearbeitung > Galvanotechnik auf der Seite Spülverfahren eingegangen.

Grafik: Konzentrat-Rückgewinnung durch Spülwasserrückführung und Einsatz der Verdampfertechnik

Quelle: Deutscher Beitrag zum BREF „Oberflächentechnik“, Umweltbundesamt 2006 (Seite 45)

Für die Aufkonzentrierung im Spülwasser enthaltener Elektrolyte kann die Verdampfertechnik eingesetzt werden. Das Konzentrat kann anschließend in das Aktivbad zurückgeführt, das Destillat wieder im Spülprozess eingesetzt und damit der stoffliche Kreislauf geschlossen werden. Insbesondere Vakuumverdampfer mit Brüdenverdichtung arbeiten bei niedrigen Temperaturen und Drücken (Schonung der Elektrolytzusätze) und verbrauchen mit ca. 120 – 200 W/l deutlich weniger Energie als Verdunstersysteme. Sie sind im Invest allerdings auch deutlich teurer. Entsorgungshinweise: Ist eine Regenerierung des Elektrolyten nicht wirtschaftlich oder nicht mehr möglich, so können verbrauchte Eloxierbäder in der Regel verwertet werden. Kleine Mengen können auch in der betrieblichen Abwasserbehandlungsanlage aufgearbeitet werden. Die Entsorgung muss als gefährlicher Abfall (früher **Sonderabfall**) unter dem Abfallschlüssel 11 01 06* Säuren a. n. g. erfolgen.

Verfahren zur Nachbehandlung und Farbgebung

Nach dem eigentlichen Eloxierprozess sind die Eloxalschichten noch mit vielen, sehr feinen Poren behaftet. Unbehandelte Eloxalschichten sind daher erst einmal porös und weisen gegenüber Flüssigkeiten eine gewisse Saugfähigkeit auf. Dies verringert einerseits die Korrosionsbeständigkeit und eröffnet andererseits die Möglichkeit in die natürliche Porosität Farbstoffe oder korrosionsschützende Stoffe einzulagern.

Eloxierte Werkstücke werden daher in weiteren Prozessschritten oft eingefärbt und diese Poren in einem Verdichtungsprozess verschlossen.

Einfärben von Eloxalschichten

Von Natur aus sind Eloxalschichten silbern und weisen legierungstypische Farbstiche mit Grau- und Bronceschattierungen auf. Durch Einlagerung von Farbstoffen in die Poren der Oxidschicht lassen sie sich jedoch auch in vielen Farbtönen einfärben. Dieses bedeutet jedoch einen weiteren Verfahrensschritt, der mit zusätzlichem Energie- und Chemikalieneinsatz sowie weiteren Umweltauswirkungen verbunden ist.

Aus rein umweltorientierter Betrachtung sind Eloxalschichten mit natürlichen Farbschattierungen daher eingefärbten Eloxalschichten vorzuziehen.

Die Möglichkeit Eloxalschicht farblich zu gestalten, eröffnet jedoch ein zusätzliches Anwendungsfeld für Aluminiumbauteile.

Foto: Beispiele für naturfarbene und eingefärbte eloxierte Teile

Quelle: Fa. Jösel Metallveredelung, Mühlacker/Enzberg

Zur Einfärbung werden die folgenden Verfahren eingesetzt:

- **Einstufen-Farbanodisieren**

Die Einfärbung wird **direkt beim Eloxierprozess** durch Variation der Säuremischung sowie der Aluminiumlegierung erzielt. Die Schichten sind sehr hart und weisen eine gute Lichtechtheit auf. Die erzielbaren Farbschattierungen sind eingeschränkt und liegen in einer Palette von Silber-, Gelb- und Broncetönen bis schwarz. Die Steuerung der Prozessparameter muss in einem sehr engen Profil erfolgen. Die Reproduzierbarkeit der Farben gestaltet sich damit in der Praxis als schwierig.

Aus umwelttechnischer Sicht sollte die Einstufen-Farbanodisierung den anderen Farbgebungsverfahren vorgezogen werden, da sie im gleichen Prozessbad (weniger Chemikalien und weniger Spülprozesse) und bei Raumtemperatur (geringer Energieverbrauch) erfolgen kann. Die im Elektrolyt entstehenden organischen Abbauprodukte und gelöstes Aluminium können durch **Ionenaustauscher** entfernt und damit die Standzeit der Lösung erheblich verlängert werden.

- **Adsorptives Färben**
  -
  - **mit organischen Farbstoffen**

Bei diesem, auch Tauchfärben genannten, Verfahren werden organische **Komplexfarbstoffe in wässriger Lösung** bei Temperaturen zwischen 50 und 60 °C durch Tauchen oder Sprühen in die noch poröse Oxidschicht eingelagert. Die Verweildauer ist systemabhängig und kann von 30 sec bis zu 20 min. betragen. Mit den dabei verwendeten basischen, als auch sauren Farbstoffen kann ein breites Farbspektrum abgedeckt werden. Nachteil dieses Verfahrens ist die nur bedingte Lichtechtheit der Einfärbung.

  - **mit anorganischen Farbstoffen**

Die chemisch adsorptive Einfärbung mit **anorganischen Salzen** hat seit der Entwicklung des elektrolytischen Färbens als Alternative mit sehr lichtechten Farben zunehmend an Bedeutung verloren.

- **Elektrolytisches Färben**

Das Einfärben erfolgt bei diesem, auch als Zweistufenverfahren bekannten, Färbeprozess in einer Metallsalzlösung unter Beaufschlagung mit Wechselstrom. Mit unterschiedlichen Metallsalzen, darunter auch etliche Schwermetallverbindungen (z. B. Kupfer, Blei, Cobalt, Cadmium), lässt sich ein nahezu uneingeschränktes Farbspektrum realisieren. In Deutschland haben sich jedoch fast ausschließlich Verfahren mit Zinnsalzen durchgesetzt. Die erzielten Einfärbungen weisen eine hohe Lichtechtheit auf, weshalb dieses Verfahren zunehmend an Bedeutung gewonnen hat.

Entsorgungshinweise: Ist eine Regenerierung von Farbbädern nicht wirtschaftlich oder nicht mehr möglich, so können diese in der betrieblichen Abwasserbehandlungsanlage behandelt werden. Ist eine Entsorgung vorgesehen oder erforderlich muss die als gefährlicher Abfall (früher **Sonderabfall**) erfolgen. Sind Säuren enthalten unter dem Abfallschlüssel 11 01 06* Säuren a.n.g. ansonsten unter 11 01 11* wässrige Spülflüssigkeiten, die gefährliche Stoffe enthalten.

Verdichten von Eloxalschichten

Durch die natürliche Porosität haben Eloxalschichten ein hohes Adsorptionsvermögen auch gegenüber korrosiven Medien. Zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit sowie zum Schutz eingelagerter Farbpigmente muss die Eloxalschicht in einer abschließenden Behandlung mit Wasserdampf oder Heißwasser hydratisiert und damit die Poren verschlossen werden. Dieser Prozess wird auch als Sealen bezeichnet.

Am meisten verbreitet ist das Heißwasserverdichten (Heißwassersealing). Die Verdichtung erfolgt in der Regel in vollentsalztem Wasser bei Temperaturen im Siedebereich. Die Behandlungsdauer ist von der Dicke der Eloxalschicht abhängig (2 – 4 min. pro µm Schichtdicke). Verdichtungsprozesse sind also sehr energieaufwändige Prozesse (Wärmeverluste der Bäder, Verdampfungsverluste). Zur Verbesserung der Prozesseigenschaften werden dem Bad verschiedene Zusätze beigegeben (z. B. Belagsverhinderer).

Nach dem Verdichtungsprozess sind die eloxierten Teile direkt verwendungsfähig und bedürfen keiner weiteren Behandlung mehr.

Ansatzpunkte zur Verbesserung der Energieeffizienz

Wie bereits erwähnt muss das Verdichten bei hohen Badtemperaturen, in der Regel knapp unterhalb des Siedepunktes, erfolgen. Zur Verbesserung der Energieeffizienz sollten Sie folgende Ansatzpunkte prüfen:

- **Reduzierung der Badtemperatur**

Eine Möglichkeit der Energieeinsparung beim Verdichten bieten so genannte Niedrig-Temperatur-Sealing-Zusätze. Durch sie kann die Hydratisierungstemperatur um gut 10 °C auf vorzugsweise 82 – 88 °C abgesenkt werden. Neben der, bei ansonsten gleichen Randbedingungen, deutlichen Energieeinsparung um 20 – 30 % besteht damit gegebenenfalls auch die Möglichkeit einer Badbeheizung mit einer bestehenden Heißwasserheizung. Ansonsten ist die Beheizung über Wärmeträger (z. B. Thermoöl) oder über eigene Heizsysteme erforderlich. Ein weiterer Vorteil ist die reduzierte Belastung des Fertigungsbereichs mit Wasserdampf.

- **Einsatz alternativer Imprägniertechniken**

Beim so genannten Kaltimprägnieren wird durch Nickel- und/oder Kobaltfluorid-Zusätze ein Aluminiumfluoridkomplex gebildet, der die Poren der Oxidschicht verschließt. Nachteilig auch bei diesem Verfahren ist die Erfordernis von zusätzlichen, mit Umweltrisiken verbundenen Zusätzen. Aufgrund der erhöhten Anfälligkeit der Eloxalschichten gegenüber Rissbildung bei Bewitterung findet das Verfahren keine breite Anwendung.

- **Reduzierung von Wärmeverlusten**

Wärmeverluste beim Sealing entstehen in erster Linie über die Badoberfläche. Durch die üblicherweise hohen Temperaturen nahe dem Siedepunkt sind die Verdampfungsverluste bereits bei ruhender Badoberfläche sehr hoch. Die Bäder sollten daher grundsätzlich möglichst vollständig abgedeckt sein. Ideal sind automatische Abdeckungen, die nur beim Beschickungs- und Entnahmevorgang geöffnet werden.

Foto: Manuelle Beschickung der Behandlungsbäder

Quelle: Fa. Jösel Metallveredelung, Mühlacker / Enzberg

Bei bereits bestehenden Anlagen ist eine Nachrüstung mit Abdeckungen oft aus Platzgründen schlecht realisierbar. Eine Alternative sind Kunststoffkugeln zur Badabdeckung, die auch zu Einsatzzwecken im Temperaturbereich von bis zu 120 °C verfügbar sind. Bei Be- und Entladevorgängen werden diese durch das Gestell und die Ware verdrängt. Dabei besteht das Risiko, dass Gestellware verschoben oder aus der Aufhängung gehoben wird. Die Abdeckung mit Kugeln ist daher nur bei größeren Teilen zu empfehlen.

Weitere Hinweise zur Reduzierung des Energieverbrauchs bei der Badbeheizung sowie bei Abluftanlagen finden Sie im Kapitel Metallbearbeitung > Galvanotechnik > Verfahren.

Entsorgungshinweise: Ist eine Regenerierung nicht wirtschaftlich oder nicht mehr möglich, so können verbrauchte Sealingbäder in der Regel in der betrieblichen Abwasserbehandlungsanlage behandelt werden. Ist eine Entsorgung erforderlich (gilt auch für die Behandlung in einer externen Abwasserbehandlungsanlage) muss dies als gefährlicher Abfall (früher **Sonderabfall**) erfolgen. Sind Säuren enthalten unter dem Abfallschlüssel 11 01 06* Säuren a.n.g. ansonsten unter 11 01 11* wässrige Spülflüssigkeiten, die gefährliche Stoffe enthalten.

Abwasserbehandlung und Verwertung

Die Oberflächenbehandlung von Aluminiumbauteilen durch Eloxieren ist in seiner gesamten Verfahrenskette mit hohen Wasserverbräuchen und damit mit einem hohen Abwasseraufkommen verbunden. Selbst kleinere Eloxalbetriebe verfügen daher meist über eine geeignete Abwasserbehandlungsanlage zur Behandlung anorganisch belasteter Abwässer.

Foto: Probenahme bei der Abwasserbehandlung

Quelle: Fa. Jösel Metallveredelung, Mühlacker / Enzberg

Die in einem Eloxalbetrieb anfallenden Abwässer resultieren einerseits aus verbrauchten Wirkbädern und andererseits aus Reinigungs- und Spülprozessen.

- Abwässer aus Wirkbädern: Die meisten Verfahrensschritte wie z. B. das alkalische Beizen und teilweise auch die anodische Oxidation sind abtragende Verfahren, bei denen die Lösungen und Elektrolyte mit den in Lösung gegangenen Stoffen angereichert werden. Bei erreichen spezifischer Konzentrationen verlieren sie ihre Wirksamkeit. Durch Badpflegemaßnahmen kann die Standzeit der Wirkbäder in der Regel erheblich verlängert und damit das Abwasservolumen drastisch reduziert werden. Die Realisierung und Optimierung von stofflichen Kreisläufen ist auch im deutschen Kreislaufwirtschaftsgesetz (**KrWG**) mit dem Ziel der Ressourcen- und Umweltschonung vorgegeben. Eine wirkungsvolle Badpflege muss daher immer vor der Abwasserbehandlung stehen. Ist eine Aufbereitung nicht mehr wirtschaftlich, müssen verbrauchte Wirkbäder entweder als Konzentrate entsorgt oder der Abwasserbehandlung zur Entgiftung und Neutralisation zugeführt werden.

- Abwässer aus Reinigungsprozessen: Bezüglich der Schadstoffbelastung und damit der erforderlichen Behandlung spielen Abwässer aus vorgeschalteten Reinigungs- und Entfettungsbädern in einem Eloxalbetrieb eine Sonderrolle. Im Gegensatz zu den überwiegen mit anorganischen Schadstoffen belasteten Abwässern aus Eloxier-, Farbgebungs- und Sealingprozessen sind Entfettungsbäder in der Regel überwiegend mit Organik belastet. Oftmals sind Abwasserbehandlungsanlagen in einem Eloxalbetrieb jedoch nicht auf die Behandlung organisch belasteter Abwässer, wie z. B. Reinigungsemulsionen ausgelegt. Die Zuführung von organisch stark belasteten Abwässern in den anorganischen Strang der Abwasserbehandlungsanlage führt zu mit Kohlenwasserstoffen belasteten Hydroxidschlämmen, die nicht mehr auf Deponien abgelagert werden können. Auf jeden Fall sollten daher organisch belastete Abwässer separat erfasst werden. Je nach Aufkommen kann dann entschieden werden, ob sich eine innerbetriebliche Behandlung lohnt, oder ob es wirtschaftlicher ist, diese über eine externe Behandlungsanlage zu entsorgen. Verfahren und einen Wirtschaftlichkeitsvergleich zur Behandlung von Emulsionen und ölhaltigen Abwässern finden Sie im Kapitel Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Kühlschmierstoffe > wassermischbare Kühlschmierstoffe > Entsorgung.
- Abwässer aus Spülprozessen: Insbesondere nach dem alkalischen Beizen (hohe Viskosität) und nach dem Anodisieren (wegen der hohen Porosität der Oberflächen) sind die Verschleppungsraten aus dem Wirkbad vergleichsweise hoch, so dass gründliche Spülprozesse erforderlich sind. Abwasserarme Spültechniken wie Kaskadenspülen und Spritzspülen sowie die Rückführung der Wirkstoffe in die Prozessbäder sind heute Stand der Technik (vgl. Literatur BVT-Merkblatt für die Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen). Mit diesen Techniken lässt sich das Abwasservolumen drastisch reduzieren. Pilotprojekte im Bereich Galvanotechnik haben gezeigt, dass ein abwasserfreier Betrieb zwar technisch möglich ist, die Wirtschaftlichkeit jedoch nicht gegeben ist. Diesbezügliche gesetzliche Forderungen werden daher nicht erhoben und sind auf absehbare Zukunft auch nicht zu erwarten.

Die Grundlagen und die Behandlungsmöglichkeiten für Abwässer mit vorwiegend anorganischen Schadstoffen (Schwermetalle, Cyanide, Nitrite usw.) wie sie typischerweise bei den meisten Prozess- und Spülbädern in Eloxierbetrieben anfallen sind im Kapitel Metallbearbeitung > Galvanotechnik > Abwasserbehandlung > Abwasserbehandlung beschrieben.

Rechtliche Grundlagen für die Abwasserbehandlung in Eloxalbetrieben

In der Regel dürfen Abwässer aus Eloxalbetrieben nur mit Genehmigung des zuständigen Landratsamts oder des städtischen Umweltamts (außerhalb Baden-Württembergs i. d. R. der unteren Wasserbehörde) in das öffentliche Kanalisationsnetz eingeleitet werden. Dabei müssen mindestens die nachfolgend beschriebenen Kriterien eingehalten werden.

Für Eloxalbetriebe gelten im Wesentlichen die gleichen Grundsätze zur Behandlung und Einleitung von Abwässern wie für galvanotechnische Betriebe. Diese sind im Kapitel Metallbearbeitung > Galvanotechnik > Abwasserbehandlung > Rechtliche Grundlagen ausführlich beschrieben.

Die Anforderungen zur Einleitung von Abwässern sind in der Abwasserverordnung **AbwV** festgelegt. Eloxalbetriebe sind in den Regelungen des Anhang 40 als eigener Herkunftsbereich der Branche Metallbearbeitung aufgeführt.

Abwasserverordnung, Anhang 40

Der Anhang 40 spezifiziert für Abwässer aus Eloxalbetrieben, als einem von zwölf aufgeführten Teilbereichen, neben allgemein geltenden Anforderungen konkrete Anforderungen an die einzuhaltende Abwasserqualität. In tabellarischen Aufstellungen werden für die jeweils zu erwartenden Schadstoffe konkrete Grenzwerte angegeben und zwar sowohl für **Indirekteinleiter**, als auch für **Direkteinleiter**. Eloxalbetriebe sind nahezu ausschließlich Indirekteinleiter.

Chlorhaltige Einsatzstoffe sind in einem Eloxalbetrieb nicht zu erwarten. An Stelle einer kostenaufwändigen Bestimmung des AOX-Grenzwerts können daher bei Verzicht auf chlorhaltige Einsatzstoffe nachstehende Ersatzregelungen herangezogen werden. Die Anforderungen an den AOX-Grenzwert gelten auch als eingehalten, wenn

- die in der Produktion eingesetzten Hydrauliköle, Befettungsmittel und Wasserverdränger keine organischen Halogenverbindungen enthalten
- die in der Produktion und bei der Abwasserbehandlung eingesetzte Salzsäure keine höhere Verunreinigung durch organische Halogenverbindungen und Chlor aufweist, als nach DIN 19610 (Ausgabe November 1975) für Salzsäure zur Aufbereitung von Betriebswasser zulässig ist,
- die bei der Abwasserbehandlung eingesetzten eisen- und Aluminiumsalze keine höhere Belastung an organischen Halogenverbindungen aufweisen als 100 mg, bezogen auf ein kg Eisen bzw. Aluminium in den eingesetzten Behandlungsmitteln
- nach Prüfung der Möglichkeit im Einzelfall
    - cyanidische Bäder durch cyanidfreie ersetzt sind
    - Cyanide ohne Einsatz von Natriumhypochlorit entgiftet werden und
    - Nur Kühlschmierstoffe eingesetzt werden, in denen organische Halogenverbindungen nicht enthalten sind.

Kommunale Abwassersatzung

Je nach Leistungsfähigkeit und der regionalen Abwasserzusammensetzung bestehen ergänzende Anforderungen zur Abwassereinleitung seitens der örtlichen Kläranlage. Diese werden in der jeweiligen kommunalen **Abwassersatzung** festgelegt und gelten unmittelbar für jeden Produktionsbetrieb. Neben konkreten Grenzwerten für Schadstoffe sind in der Abwassersatzung meistens Obergrenzen für Parameter wie z. B. pH-Wert, Temperatur oder absetzbare Stoffe vorgegeben. Informieren Sie sich daher bei Ihrer Gemeinde. Ein Beispiel mit typischen Grenzwerten einer kommunalen Abwassersatzung finden Sie im Kapitel Metallbearbeitung > Galvanotechnik > Abwasserbehandlung > Rechtliche Grundlagen.

Eigenkontrollverordnung (EKVO)

Jeder Produktionsbetrieb ist verpflichtet selber die Einhaltung der für ihn geltenden Anforderungen zur Einleitung von industriellen Abwässern in die Kanalisation in eigener Verantwortung zu kontrollieren. Die jeweils dafür erforderlichen Maßnahmen und Kontrolleinrichtungen sind in den Anhängen der Eigenkontrollverordnung (**EKVO**) des Umweltministeriums Baden-Württemberg festgelegt. Für Industriebetriebe gilt der Anhang 2. Die gemessenen Werte sind zu dokumentieren und der **Wasserbehörde** auf Verlangen vorzulegen.

Seit der zum 1. März 2010 in Kraft getretenen Neufassung des Wasserhaushaltsgesetzes sind Regelungen des Bundes zur Selbstüberwachung bei Abwassereinleitungen und Abwasseranlagen möglich. Eine entsprechende Verordnung der Bundesregierung liegt noch nicht vor. Bis zum Inkrafttreten einer Bundesregelung gilt das Landesrecht weiter.

Verwertungsmöglichkeiten für Schlämme aus der Abwasserbehandlung

Für den bei der Abwasserbehandlung in Eloxalbetrieben anfallenden Aluminiumhydroxidfilterkuchen bestehen inzwischen mehrere Verwertungsmöglichkeiten:

- bei der Herstellung von Aluminiumgrundchemikalien,
- als Zuschlagstoff für die Ziegelherstellung,
- zur Herstellung von Industriegläsern,
- in der Bauxitindustrie.

Die gängigsten Verwertungswege in großem Maßstab sind insbesondere Verfahren zur Herstellung von Grundchemikalien, wie z. B. Aluminiumsulfat, Aluminiumchlorid, Aluminate usw. Seitens der Verwerter gelten für die verschiedenen Anlagen bestimmte Grenzwerte bezüglich der Zusammensetzung und zulässiger Schadstoffe (z. B. Schwermetalle, Anionen, Organik). Da die Annahmebedingungen von Anlage zu Anlage stark schwanken, sollten Sie Kontakt zuerst mit ihrem regionalen Entsorger und bei größeren Mengen auch direkt mit der Verwertungseinrichtung aufnehmen. Anhand einer Probe (üblicherweise reichen 1 – 2 kg) wird die Verwertungsmöglichkeit beurteilt und Sie erhalten ein Angebot über die erforderliche Zuzahlung (ca. 40,- bis 100,- €/t, Stand 2009). Sprechen Sie dann ggf. auch Ihren Entsorger zu Optimierungsmöglichkeiten bezüglich der enthaltenen Schadstoffe an. Manchmal kann sich eine Verfahrensanpassung in der Abwasserbehandlungsanlage lohnen.

Aluminiumhydroxid wird auch in Kläranlagen als Fällungshilfsmittel für die Phosphatfällung eingesetzt. In Einzelfällen wurde daher auch die Entsorgung von Nassschlämmen als Direkteinleitung in die kommunale Kläranlage realisiert. Auch hier gelten natürlich spezifische Grenzwerte, insbesondere für Schwermetalle. Wenn ihr Betrieb sich in räumlicher Nähe der kommunalen Kläranlage befindet, dann lohnt sich eine Anfrage.

Entsorgungshinweise: Ist eine Verwertung nicht wirtschaftlich oder nicht möglich, so müssen Schlämme und Filterkuchen aus der Abwasserbehandlung in Eloxalbetrieben beseitigt werden. Dies wird in der Regel auf oberirdischen Sonderabfalldeponien erfolgen. Die Entsorgung (gilt auch für die Verwertung) muss je nach Inhaltsstoffen als gefährlicher Abfall (früher **Sonderabfall**) unter dem Abfallschlüssel 11 01 09* (Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten) erfolgen. Wenn keine gefährlichen Inhaltsstoffe enthalten sind (vorherige Analyse erforderlich) kann die Entsorgung auch als nicht gefährlicher Abfall unter dem Abfallschlüssel 11 01 10 (Schlämme und Filterkuchen mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 0109 fallen) erfolgen.

Einsatzstoffe in metallbearbeitenden Branchen

Die Zeiten in denen schon der verwendete Werkstoff eine klare Aussage bezüglich der Qualität eines Werkstücks (z. B. "hart wie Krupp-Stahl") vermittelte sind vorbei. Stahl oder eine NE-Metalllegierung ist zwar nach wie vor der Grundwerkstoff, wesentliche Eigenschaften wie Härte, Oberfläche, optische und elektrische Eigenschaften oder auch dekorative Effekte werden aber inzwischen in weiten Bereichen durch moderne Bearbeitungs-, Behandlungs- und Beschichtungstechniken bestimmt. Sowohl bei der Metallbearbeitung mittels Werkzeugmaschinen, die in den meisten metallverarbeitenden Betrieben den größten Fertigungsanteil ausmachen, als auch bei den Verfahren zur Oberflächenbehandlung wird heute unter dem Oberbegriff "Einsatzstoffe" eine große Bandbreite von Prozess-, Hilfs- und Betriebsstoffen eingesetzt. Oft sind mit diesen Stoffen wesentliche Umweltaspekte verbunden. Die Palette der verfügbaren Einsatzstoffe ist groß und unübersichtlich und reicht von A wie Anlassöle über K wie Kühlschmierstoffe bis Z wie Zinkbeschichtung.

Im Zusammenhang mit dem eingesetzten Produktionsverfahren sollten daher bei der Auswahl von Einsatzstoffen auch die Aspekte des Umwelt- und des Arbeitsschutzes mit einbezogen werden.

Insbesondere die häufig als **Gefahrstoff** eingestuften Prozess- und Hilfsstoffe beinhalten ökologische Risiken und Auswirkungen, die auch von erheblicher Kostenrelevanz sein können. Wie die bei Ihnen eingesetzten Stoffe eingestuft sind und welche (gefährlichen) Inhaltsstoffe enthalten sind entnehmen Sie am besten dem jeweiligen EU-Sicherheitsdatenblatt. Teilweise entstehen gefährliche Stoffe aber auch erst im Produktionsprozess, wie z. B. Schweißrauche, Lösemittelemissionen aus der Reinigung oder Lackierung oder Aerosole beim Kühlschmierstoffeinsatz. Für eine umweltgererechte wie rentable Betriebsführung gilt es zu überlegen, wie Abfälle vermieden, Ressourcen eingespart und Gefahrenpotenziale für die Mitarbeiter und die Umwelt erkannt und vermieden werden können. Grundlegende Ansatzpunkte sind:

- Vorgehensweise und Kriterien zur Auswahl von Einsatzstoffen,
- der richtige Umgang mit den jeweiligen Stoffen,
- organisatorische und technische Maßnahmen zur Abfallvermeidung,

- Möglichkeiten zur innerbetrieblichen Aufarbeitung, zur Verwertung und zur umweltgerechten Beseitigung,
- Arbeits- und Immissionsschutz

Oft sind Prozesschemikalien wie Reinigungs- und Lösemittel, zur Prozessoptimierung eingesetzte Prozesshilfsmittel wie Schmier- und Kühlschmierstoffe, sowie Betriebsstoffe wie Hydraulik- und Maschinenöle von besonderer Umweltrelevanz. Dies betrifft sowohl die direkt aus dem jeweiligen Prozess resultierenden Abfälle und Emissionen, oft aber auch Folgeprozesse, in die über Verschleppungen Hilfsstoffe aus den Vorprozessen eingetragen werden.

Auswahlkriterien für Einsatzstoffe in metallbearbeitenden Branchen

Einsatzstoffe wie Prozesschemikalien, Prozesshilfsmittel und Betriebsstoffe werden heute bei den meisten Metallbearbeitungsverfahren eingesetzt und sind auch in kleineren Betrieben ein wesentlicher Bestandteil der Produktion.

Auch wenn das Thema Chemie für Metaller häufig ein Buch mit sieben Siegeln ist, sollten Sie sich dennoch mit den Auswirkungen der im Betrieb eingesetzten Chemikalien auseinandersetzen. Gerade in kleinen und mittelständischen Betrieben sind für eine eingehende Beschäftigung oft nicht die erforderlichen Personalressoucen verfügbar. Nutzen Sie daher die Informations- und Beratungsmöglichkeiten der Kammern und Verbände sowie der Berufsgenossenschaften sowie die Erfahrungen Ihrer Chemikalienlieferanten.

Im Zusammenhang mit dem eingesetzten Produktionsverfahren sollten bei der Auswahl von Einsatzstoffen auch die Aspekte des Umwelt- und des Arbeitsschutzes mit einbezogen werden.

Grafik: Auswahlkriterien für Einsatzstoffe

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Da Prozess- und Hilfsstoffe häufig als Gefahrstoff eingestuft sind, können mit deren Lagerung, Einsatz und Entsorgung ökologische Risiken und Auswirkungen verbunden sein, die eine erhebliche Kostenrelevanz beinhalten können. In metallverarbeitenden Branchen stehen nahezu alle anfallenden gefährlichen Abfälle Sonderabfälle im direkten oder indirekten Zusammenhang mit Einsatzstoffen.

Beispiel: In einem Bearbeitungszentrum wird mit einem KSS-Öl auf Mineralölbasis (WGK 2, gem. **Sicherheitsdatenblatt**) gearbeitet. Der Versorgungsbehälter fasst 1.200 Liter. Die wichtigsten zu beachtenden Aspekte sind: Die Maschine muss gekapselt sein und den Anforderungen an Brand- und Explosionsschutz genügen. Vorratsbehälter und Maschine müssen gemäß VAwS gegen Leckagen abgesichert sein. Bei stark ölbehafteten Werkstücken oder Spänen sollte eine Entölung (z. B. zentrifugieren) erfolgen oder es müssen Maßnahmen zur Vermeidung von Boden- und Gewässerkontaminationen getroffen werden.

Für jeden Betrieb stellen sich die gleichen Grundfragen: Wie kann mit möglichst geringem Aufwand sichergestellt werden, dass:

- keine verbotenen Stoffe eingesetzt oder Einsatzbeschränkungen überschritten werden?

- enthaltene Umweltrisiken und Gefahrenpotenziale erkannt, so dass entsprechende Vorkehrungsmaßnahmen ergriffen werden können?
- bei Erfüllung der technischen Anforderungen möglichst umweltgerechte und kostengünstige Einsatzstoffe Verwendung finden?

Bei bestehenden Produktionsbetrieben hat sich hierfür ein schrittweises Vorgehen bewährt:

1. **Erfassung derzeit verwendeter (oder zur Verwendung vorgesehener) Einsatzstoffe**: Mengen und Inhaltsstoffe (EU-Sicherheitsdatenblatt) sowie deren Lager- und Einsatzorte: Verschaffen Sie sich einen Überblick, welche Einsatzstoffe beschafft werden und in welchen Prozessen sie eingesetzt werden. Für alle Stoffe sollten aktuelle Sicherheitsdatenblätter vorhanden sein. Aus diesen können in den jeweiligen Stoffen eventuell enthaltene Gefahrstoffe und deren Gefahrenklasse entnommen werden.
2. **Prüfung bestehender rechtlicher Anforderungen** (Umweltschutz und Arbeitsschutz) und deren Einhaltung:
   Ist ein Einsatzstoff oder eine Zubereitung (z. B. eine Emulsion) als Gefahrstoff eingestuft, so können Grenzwerte und relevante Regeln über die Gefahrstoffliste des Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz (BGIA) in Erfahrung gebracht werden. Der aktuelle BGIA-Report 1/09 kann als Broschüre oder als pdf-file kostenlos bezogen werden.
3. **Ganzheitliche Betrachtung der Prozesskette**, Prüfung der Chemikalienverträglichkeit, Erfassung der mit dem Einsatzstoff verbundenen Umweltaspekte und Kosten:
   Einsatzstoffe wirken sich nicht nur im jeweiligen Prozess, sondern insbesondere über Verschleppungen oder über Leckagen auch bei Folgeprozessen und Nebenprozessen aus. Um die Umweltauswirkungen zu erfassen, Prozessstoffen zuzuordnen und auch finanziell bewerten zu können, sollte die gesamte Prozesskette betrachtet werden. Wenn es zu Vermischungen verschiedener Prozessstoffe kommt (z. B. Hydrauliköle mit Kühlschmierstoffen) können Unverträglichkeiten zu Veränderungen mit erhöhtem Abfallaufkommen führen. Miteinander in Kontakt kommende Prozessstoffe müssen daher aufeinander abgestimmt sein. Holen Sie sich hierzu die Unterstützung Ihrer Chemikalienhersteller.
   Beachten Sie auch, dass **gefährliche Stoffe teilweise erst im Produktionsprozess entstehen, z. B**. Lösemittelemissionen aus der Reinigung oder Lackierung oder Aerosole beim Kühlschmierstoffeinsatz.
4. **Prüfung umweltverträglicherer Alternativen**
   Weist ein Einsatzstoff besondere Umweltrelevanz auf, enthält er gefährliche Komponenten oder Inhaltsstoffe oder verursacht er hohe Emissionen oder Abfallmengen, so sollte nach **umweltverträglicheren Alternativen** gesucht werden. In der Regel ist die umweltfreundliche Alternative auch die kostengünstigere, insbesondere dann, wenn alle Aspekte in die Betrachtung einbezogen und auch finanziell bewertet werden. Beim Neueinsatz von Prozessstoffen sollte dieser Schritt von vornherein mit in die Bewertung aufgenommen werden.

Grafik: Umweltverträglichkeit von Prozessstoffen - die gesamte Prozesskette entscheidet

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Zwei Beispiele:

- **Einträge von Hydraulik- und Bettbahnölen** in den Kühlschmierstoff lassen sich in der Praxis kaum vermeiden. Unverträglichkeiten führen zu vorzeitigem Ausfall des KSS-Bads und damit zu höherem Abfallaufkommen und Kosten. Die Produkte müssen daher immer aufeinander abgestimmt sein.
- Additive in wassergemischten Kühlschmierstoffen oder Reinigungsemulsionen, die wasserlöslich sind, können Verursacher von Problemen bei der Abwasserbehandlung sein. So führen z.B. zinkhaltige Additive oder Zinkauslösungen in das Bad schnell zu einer Überschreitung der Zink-Grenzwerte im Abwasser und verursachen Folgekosten.

Eine **ganzheitliche Prozessbetrachtung** zeigt Zusammenhänge in der Produktion auf und eröffnet große **Potenziale zur Prozessoptimierung**, sowohl in ökologischer als auch in ökonomischer Hinsicht.

Kühlschmierstoffe für die spanende und umformende Metallbearbeitung

Kühlschmierstoffe (KSS) werden sowohl bei spanenden Bearbeitungsverfahren als auch bei Umformprozessen zur Steigerung der Leistungsfähigkeit (längere Werkzeugstandzeiten, höhere Schnittparameter, Oberflächenqualität usw.) eingesetzt. Obwohl inzwischen für ein breites Spektrum von Bearbeitungsprozessen und Werkstoffen die wirtschaftliche Realisierbarkeit der umweltschonenderen Trockenbearbeitung nachgewiesen wurde, werden derzeit noch ca. 85% der Metallbearbeitungsverfahren mit KSS (Nassbearbeitung) durchgeführt.

In Deutschland wurden 2011ca. 85.000 t KSS zur Metallbearbeitung eingesetzt. Zu unterscheiden ist dabei zwischen **nichtwassermischbaren KSS** (nwm-KSS oder KSS-Ölen) und **wassergemischten KSS** (wmb-KSS: KSS-Emulsionen oder KSS-Lösungen). Bei letzteren werden die Konzentrate mit 90 bis 97 % Wasser zu gebrauchsfähigen Mischungen angesetzt. So erhält man beispielsweise bei einer 5 %-igen Mischung aus einem Liter Konzetrat 20 Liter gebrauchsfähigen Kühlschmierstoff. Hochgerechnet werden somit aus 30.700 t Konzentrat ca. 614.000 t wassergemischte KSS.

Grafik: KSS-Anteil am Schmierstoffverbrauch in Deutschland

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft, 2008

Zusammen mit den indirekt entstehenden Abfällen (z. B. Schleifschlämme, Ölbindemittel, verölte Putztücher) resultiert aus dem KSS-Einsatz bundesweit ein jährliches Sonderabfallaufkommen von ca. 1 Million t.

Für viele Beschäftige in Produktionsbereichen von metallverarbeitenden Betrieben, insbesondere wenn spanende Bearbeitungsprozesse eingesetzt werden, lässt sich der Kontakt mit Kühlschmierstoffen kaum vermeiden. Das betrifft nicht nur den direkten Hautkontakt, der primär die Mitarbeiter an den Werkzeugmaschinen und der Weiterverarbeitung tangiert, sondern insbesondere auch Emissionen von KSS-Dämpfen und Nebel, die sich meistens im gesamten Fertigungsbereich verbreiten.

Kühlschmierstoffe können die Gesundheit der Beschäftigten gefährden (Haut- und Atemwegserkrankungen) und bedingen bei Lagerung, Einsatz und Entsorgung verschiedene Umweltgefahren (Wassergefährdung, Brandgefahr).

Das Gefahrenpotenzial hängt von der Art des verwendeten Kühlschmierstoffs und seinen Inhaltsstoffen ab (Grundöle, **Additive**). Gemäß DIN 51 385 unterscheidet man bei den Kühlschmierstoffen drei Hauptgruppen.

Grafik: Einteilung der Kühlschmierstoffe in Anlehnung an DIN 51 385

Quelle: DIN 51 385

Sowohl nichtwassermischbare KSS als auch wassermischbare KSS sind in der Regel Mischungen aus mehreren Komponenten: den Grundölen (Mineralöl, synthetische oder pflanzliche Öle) sowie eigenschaftsverbessernden Additiven. Mit bis zu 30 Komponenten stellen dabei die wassergemischten KSS die komplizierteren Systeme dar, sowohl was die Inhaltstoffe anbetrifft, als auch bezüglich der Überwachung und Pflege (richtiger Umgang mit Emulsionen/Lösungen).

Tabelle: Zusammensetzung von Kühlschmierstoffen

	Grundöle	Gebräuchliche Additive
KSS-Öle (nichtwassermischbare KSS)	Mineralöle Syntheten Ester / pflanzliche Öle	EP-Zusätze wie: Fettsäuren, Phosphorverbindungen Schwefelverbindungen (Chlorverbindungen)
Kühlschmier-Emulsionen	Mineralöle Syntheten Ester / (pflanzliche Öle)	Emulgatoren Korrosionsinhibitoren Lösungsvermittler Antischaummittel Mikrobiozide Polare Wirkstoffe und EP-Zusätze Pigmente
Kühlschmier-Lösungen	Wasserlösliche org. Stoffe (z.B. Polyalkylenglykole)	Korrosionsschutzmittel (Anorganische Salze) Netzmittel (Detergenzien) Wasserlösliche org. Stoffe

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Viele Öle und die meisten der verwendeten Additive sind als Gefahrstoffe eingestuft. Die Grundlage für einen umweltgerechten Einsatz von KSS wird daher bereits bei der Auswahl und dem Einkauf getroffen.

Praxisnah und sehr informativ ist der eNewsletter Umwelttechnik Deutschland 2/2006 Kühlschmierstoffe (s. Literatur im rechten Infoblock). Dort werden Grundlagen und Praxisbeispiele zur Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung erläutert. Weiterhin finden Sie Richtlinien zu Kühlschmierstoffen, Kontaktadressen, Links sowie vertiefende Literatur.

Auswahlkriterien für Kühlschmierstoffe

Die Palette der am Markt verfügbaren Kühlschmierstoffe (KSS) ist insbesondere für kleine und mittelständische Betriebe nicht überschaubar. Allein als Additive werden über 300 Chemikalien angeboten. Eine allgemein gültige Aussage, welcher der "ungefährlichste" und gleichzeitig technisch trotzdem geeignetste Kühlschmierstoff ist, lässt sich daher nicht treffen.

Grafik: Anforderungen an Kühlschmierstoffe

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Um Gesundheits- und Umweltschäden zu vermeiden oder zumindest einzuschränken, sollten neben den technologischen Anforderungen (auf die hier nicht näher eingegangen werden kann) die Anforderungen des Arbeits- und Umweltschutzes gleichrangig berücksichtigt werden!

Bei Beachtung folgender Grundsätze lassen sich Umweltrisiken erheblich einschränken:

- **Einbeziehung aller Beteiligten**: Ziehen Sie bei der KSS-Auswahl möglichst alle internen und externen Beteiligten mit ein, wie Einkauf, Produktion, Umweltbeauftragten, KSS-Hersteller, Maschinen- ggf. auch Werkzeughersteller, ggf. Verwerter oder Entsorger. Nutzen Sie unabhängige Informations- und Beratungsmöglichkeiten.
- **Aufgaben und alternative Verfahren:** Definieren Sie die Hauptaufgaben des KSS (Kühlen, Schmieren, Wegspülen der Späne) bezogen auf Ihre Anwendungen und überprüfen Sie, ob das Verfahren keine Alternativen wie Trockenbearbeitung oder MMS zulässt.
- **Vermeidung von Umweltrisiken:** Achten Sie auf möglichst umweltgerechte und humanverträgliche Inhaltsstoffe. Stellen Sie sicher, dass keine verbotenen oder mit unbekannten Umweltrisiken behafteten Komponenten in den KSS enthalten sind. Auch Stoffe mit Verwendungsbeschränkungen sollten nach Möglichkeit nicht im KSS enthalten sein. Hilfen hierzu bieten die Stoffliste des Verbraucherkreises industrieller Schmierstoffanwender VKIS, Informationen der Berufsgenossenschaften sowie das für Sie zuständige Regierungspräsidium. Die Basis hierzu bilden aussagefähige und aktuelle EU-Sicherheitsdatenblätter.

  Praxistipp: Die Homepage des VKIS enthält ein Musterschreiben an den KSS-Hersteller zur Gewährleistung einer möglichst geringen Gefährdung für Mitarbeiter und Umwelt unter Berücksichtigung gesetzlicher Regelungen und der VKIS-Stoffliste.

- **Gewässerschutz:** In Abhängigkeit von den (wassergefährdenden) Inhaltsstoffen sind KSS in unterschiedliche Wassergefährdungsklassen (WGK) eingestuft. Generell ist eine niedrige WGK vorteilhaft. Sicherungsmaßnahmen zum Gewässerschutz beinhalten die Vorgaben der VAwS. Besonders (kosten)relevant ist dies bei großen Mengen und bei Anlagen in Wasserschutzgebieten.

- **Reduzierung der Produktvielfalt:** Setzen Sie möglichst wenige KSS-Produkte ein. Ideal ist nur ein Produkt. Auch bei einem breiten Produktionsspektrum sind in der Regel drei bis vier verschiedene Kühlschmierstoffe ausreichend. Neben Umweltaspekten bestehen Vorteile vor allem im Kostenbereich.

Grafik: Vorteile durch reduzierte Produktvielfalt

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

- **Chemikalienabstimmung:** Sorgen Sie dafür, dass der KSS und andere in der Fertigungslinie eingesetzte Chemikalien aufeinander abgestimmt sind (KSS- und Chemikalienlieferanten, z. B. für Hydrauliköl und Reiniger, in die Pflicht nehmen).

Es gibt einige **"Streitthemen" zur Umweltverträglichkeit von KSS**, die mit konträren Diskussionsbeiträgen je nach Interessensstandpunkt immer wieder aufgeworfen werden:

Biologische Abbaubarkeit: Insbesondere im Hinblick auf die Anforderungen der VAwS und bezüglich besserer Hautverträglichkeit sind KSS auf Basis pflanzlicher- und Ester-Öle entwickelt worden. In der betrieblichen Praxis haben sich KSS-Öle auf pflanzlicher- oder Esterbasis im **Durchschnitt als hautfreundlicher** erwiesen. Insbesondere bei wassergemischten KSS hat dagegen die bessere biologische Abbaubarkeit eine höhere Empfindlichkeit gegen Verkeimung zur Folge (kürzere Standzeiten, oft mehr Biozideinsatz). Während "biologische" KSS-Öle unter Umweltaspekten vorteilhaft sind, weisen sie bei wassergemischten KSS dagegen insgesamt kaum Vorteile auf. **Öl oder Emulsion**: Aus Umweltsicht gibt es bei der Diskussion, ob nichtwassermischbare oder wassergemischte KSS vorteilhafter sind **keinen klaren Sieger**. Bei ganzheitlicher Betrachtung weisen beide Gruppen Vor- und Nachteile auf, die je nach prozessspezifischen oder betrieblichen Randbedingungen gewichtet werden müssen. Dies betrifft genauso die Kostenseite. Hierzu sollten Sie sich bei der Auswahl von Kühlschmierstoffen (möglichst von unabhängiger Stelle, z. B. Berufsgenossenschaft (BGMET) oder unabhängige Berater) beraten lassen. **Schmierstoffe für MMS-Anwendungen**: Für Schmierstoffe, die bei der Minimalmengen-Schmierung eingesetzt werden sollen gelten besondere Anforderungsprofile, Sie finden sie auf der Seite Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Spanende Bearbeitung > Minimalmengenschmierung > Schmierstoffe finden.

Es gibt verschiedene Aufstellungen von Substanzen, die aus rechtlichen bzw. ökologischen Gründen nicht mehr in KSS enthalten sein dürfen bzw. sollten. **Stoffverbote und Verwendungsbeschränkungen** resultieren sowohl aus Konzentrationsgrenzwerten im Konzentrat sowie im angemischten KSS als auch aus Luftgrenzwerten am Arbeitsplatz. Als anwenderorientierte Zusammenfassung wurden vom VKIS folgende Stofflisten erarbeitet (pdf, 130 KB):

- Verbotene Stoffe oder Substanzen mit Verwendungsbeschränkungen in KSS
- Deklarationspflichtige Stoffe in KSS mit Luftgrenzwerten bzw. Konzentrationsgrenzen
- Zu deklarierende Stoffe in KSS, die arbeitsmedizinisch-toxikologisch oder ökologisch relevant sind

Umweltgerechter Einsatz von wassermischbaren Kühlschmierstoffen, KSS-Emulsionen und -Lösungen

In ca. 90 % der metallverarbeitenden Prozesse, in denen Kühlschmierstoffe eingesetzt werden, wird auf wassermischbare Kühlschmierstoffe zurückgegriffen. Unterschieden wird dabei zwischen

- **KSS-Emulsionen** (beim Anmischen des Konzentrats mit Wasser entstehen feinste Öltröpfchen, die ein weißes, milchiges Aussehen ergeben) und
- **KSS-Lösungen** (die Bestandteile des Konzentrats gehen beim Mischen mit Wasser vollständig in Lösung, so dass sich ein transparentes Aussehen ergibt)

In erster Linie ausschlaggebend für den bevorzugten Einsatz ist der gegenüber den KSS-Ölen deutlich niedrigere Beschaffungspreis. Zudem haben Emulsionen und Lösungen durch den hohen Wasseranteil ein hervorragendes Kühlvermögen und die enthaltenen Schmierstoffe und Additive ergeben gute Schmiereigenschaften, die für einen Großteil der Anwendungsfälle ausreichend sind.

Wassermischbare Kühlschmierstoffe werden daher bevorzugt bei folgenden Prozessen eingesetzt:

Tabelle: Bevorzugte Einsatzbereiche für wassergemischte KSS

Bearbeitung von	Drehen, Bohren, Fräsen, Sägen	Schleifen
• Guss	Emulsion/Lösung	Lösung
• Stählen	Emulsion	Lösung
• VA-Stählen	Emulsion	Lösung/Emulsion
• Aluminium	Emulsion	Emulsion/Lösung

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Generell nachteilig sind der gegenüber den KSS-Ölen deutlich höhere Pflegeaufwand und ein höheres Abfallaufkommen.

Aufgrund ihrer Inhaltsstoffe sind KSS-Emulsionen und -Lösungen in der Regel umweltgefährdend.

Zum Schutz der Umwelt und Ihrer Mitarbeiter sollten Sie insbesondere auf folgendes achten!

- **Vermeiden Sie umweltkritische Inhaltsstoffe** (siehe: Metall > Einsatzstoffe > KSS > Auswahl)
- Beachten Sie die **gesetzlichen Regelungen**, insbesondere die Gefahrstoffverordnung, TRGS 611 (Verwendungsbeschränkungen für wassermischbare KSS, bei deren Einsatz N-Nitrosamine auftreten können, Nitrit-Grenzwert < 20 mg/l) und aus dem Bereich des Gewässerschutzes die Anforderungen der Anlagenverordnung wassergefährdender Stoffe (VAwS).
- Stimmen Sie den KSS mit den anderen Prozesshilfsstoffen (z. B. Hydraulik- und Bettbahnöle, Reiniger) ab. Nutzen Sie dabei die Unterstützung Ihres Chemikalienlieferanten.

- **Wassergemischte KSS** sind gegenüber Verunreinigungen empfindlich und neigen zur Verkeimung. Sorgen Sie daher für optimale Einsatzbedingungen (siehe: Metall > Einsatzstoffe > KSS > Umgang)
- Kurze **Standzeiten und hohe Austragsverluste** sind verschenktes Geld. Reduzieren Sie die Abfallmengen durch geeignete Maßnahmen (Näheres: Metall > Einsatzstoffe > KSS > Abfallvermeidung Emulsionen)
- Informieren Sie Ihre Mitarbeiter über **Arbeitsschutzmaßnahmen**, insbesondere zum richtigen Hautschutz (Näheres: Metall > Einsatzstoffe > KSS > Arbeitsschutz Emulsionen) und über die Vermeidung unnötiger Expositionen, z. B. durch Abblasen des KSS mit Pressluft von Bauteilen und aus der Maschine.
- Prüfen Sie die **Möglichkeiten der trockenen Bearbeitung** (siehe: Metall > Produktionsverfahren > Trockenbearbeitung)

Hinweis:
Bei KSS-Emulsionen macht es wenig Sinn **biologisch abbaubare Produkte** einzusetzen. Die höhere Anfälligkeit zur Verkeimung bedingt meist kürzere Standzeiten oder verstärkten Biozideinsatz zur Konservierung. Produkte auf synthetischer Basis weisen, auch gegenüber Produkten auf Mineralölbasis, in der Regel eine bessere Stabilität auf, sind aber meist auch etwas teurer.

Richtiger Umgang mit wassergemischten Kühlschmierstoffen, KSS-Emulsionen und -Lösungen

Wassergemischte Kühlschmierstoffe (Emulsionen und Lösungen) sind einerseits durch das Zusammenspiel von Wasser und organischen Stoffen (Öle, Emulgatoren usw.) vergleichsweise **empfindliche Prozessstoffe** und andererseits beinhalten sie durch ihre Inhaltsstoffe **ein Gefahrenpotenzial für die Mitarbeiter und die Umwelt**. Der richtige Umgang mit wassergemischten Kühlschmierstoffen ist daher in mehrerer Hinsicht von Bedeutung.

Ziel ist die Vermeidung von Gefährdungen von Mitarbeitern und der Umwelt sowie ein möglichst geringes Abfallaufkommen.

Für den richtigen Umgang mit KSS sollten Sie die folgenden Punkte berücksichtigen:

	Wesentliche Aspekte
Abfallvermeidung	• Schaffung guter Einsatzbedingungen • Richtiges Ansetzen • Abstimmung mit Prozess und anderen Chemikalien • Erzielung langer Badstandzeiten • Vermeidung von Schmutz- und Fremdstoffeinträgen • Regelmäßige Überwachung und Pflege • Vermeidung von Austrägen und Verschleppungen

Arbeitsschutz	• Vermeidung von Haut- und Atemwegsbelastungen
	  o Berücksichtigung gesetzlicher Vorgaben
	  o Verwendung humanverträglicher KSS
	  o Information/Schulung der Mitarbeiter

Umweltschutz	• Vermeidung von Spritz- und Leckageverlusten • Vermeidung von Wassergefährdungen • Sichere Lagerung und Handling • Umweltgerechte Entsorgung

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Um den sachgerechten Umgang mit wassergemischten KSS sicher zu stellen ist es besonders wichtig, dass die betroffenen Mitarbeiter gut informiert sind mit welchen Medien sie arbeiten und was sie zum eigenen Schutz und zum Schutz der Umwelt tun können und sollten. Ein wichtiger Schritt hierzu ist die Erstellung und Bekanntmachung einer **Betriebsanweisung**. Eine Vorlage für eine Betriebsanweisung „Umgang mit wassergemischten Kühlschmierstoffen bei mechanischer Bearbeitung“ ist über die BGMET Berufsgenossenschaft Metall Nord-Süd als Word-Datei verfügbar, so dass sie einfach an die betrieblichen Begebenheiten angepasst werden kann.

Graphik: Musterbetriebsanweisung für den Umgang mit wassergemischten KSS

Firma: **Betriebsanweisung** Nr.:

gem. GefStoffV § 14 und TRGS 555 und § 12 BioStoffV

ANWENDUNGSBEREICH

Arbeitsbereich:
Arbeitsplatz:
Tätigkeit:

GEFAHRSTOFFBEZEICHNUNG

wassergemischter Kühlschmierstoff (KSS)
Handelsname:

GEFAHREN FÜR MENSCH UND UMWELT

- Hautkontakt beeinträchtigt die Schutzfunktion der Haut; langfristige Einwirkung kann zu Hauterkrankungen führen.
- Schon geringfügige Hautverletzungen, z.B. durch Späne oder Abrieb, erhöhen das Risiko einer KSS-bedingten Hauterkrankung.
- Das Abblasen KSS-benetzter Haut und Kleidung mit Druckluft kann Hautschäden verursachen.
- Das Einatmen von KSS-Damf und -Aerosolen kann zu Schleimhaut- und/oder Atemwegs-reizungen führen.
- Mikroorganismen können zu Infektionen, z.B. bei Wunden oder vorgeschädigter Haut, oder zu allergischen Erkrankungen, z.B. beim Einatmen, führen.
- Verschütteter oder ausgelaufener KSS kann Erdreich und Gewässer verunreinigen.

SCHUTZMAßNAHMEN UND VERHALTENSREGELN

- Hautkontakt auf ein Minimum beschränken, dazu gehören:
  - Haut nie mit KSS reinigen, Hände nur mit sauberen Textil- oder Papiertüchern abtrocknen (keine Putzlappen verwenden).
  - Gebrauchte Textil- oder Papiertücher nicht in die Kleidung stecken.
  - Werkstücke, Maschinen und Haut nicht mit Druckluft abblasen.
  - Schutzeinrichtungen verwenden.
  - KSS-durchtränkte Kleidung sofort wechseln.
- Vor Arbeitsbeginn, vor Pausen und nach Arbeitsende Schutzmaßnahmen nach Hautschutzplan durchführen.
- Am Arbeitsplatz nicht essen, trinken oder rauchen, keine Lebensmittel aufbewahren.
- Keine Abfälle z.B. Zigarettenkippen, Lebensmittel, Taschentücher, in den KSS-Kreislauf gelangen lassen.
- KSS nicht in die Kanalisation entsorgen.

VERHALTEN BEI STÖRUNGEN UND IM GEFAHRFALL **Notruf:**_____

- Bei Störungen, z.B. Ausfall der Absaugung, oder auffälligen Veränderungen des KSS (z.B. Aussehen, Geruch, Fremdöl) den Aufsichtführenden informieren.
- Verschüttete/ausgelaufene KSS mit Bindemittel Typ .... aufnehmen, Schutzhandschuhe Typ .... tragen, Aufsichtführenden informieren.

VERHALTEN BEI UNFÄLLEN – ERSTE HILFE **Notruf:**_____

- Bei Hautveränderungen, z.B. raue Haut, Juckreiz, Brennen, Bläschen, Schuppen, Schrunden, den Aufsichtführenden und den Betriebsarzt informieren.
- Hautverletzungen fachgerecht versorgen lassen.
- Nach Augenkontakt sofort mit fließendem Wasser spülen, Arzt aufsuchen.
- Ersthelfer: .....

INSTANDHALTUNG, ENTSORGUNG

- Zu entsorgende KSS dürfen nur in gekennzeichneten Behältern gesammelt werden.
- Benutzte Einwegtücher in mit ..... gekennzeichneten Behältern sammeln.
- Wieder verwendbare Putztücher getrennt sammeln.
- Verwendete Bindemittel in mit ..... gekennzeichneten Behälter geben.

Datum:_____ Unterschrift: _____

Quelle: Metallberufsgenossenschaften Metall Nord-Süd, BGR/GUV-R 143

Ergänzend empfiehlt es sich einen Mitarbeiter als Kühlschmierstoff-Beauftragten mit den KSS-spezifischen Belangen zu betrauen. Dies beinhaltet die Aufgaben, bei der KSS-Auswahl mitzuwirken und dass bei ihm die wichtigen Informationen über die eingesetzten KSS vorliegen (**Sicherheitsdatenblätter**, Einsatzhinweise des Herstellers, zu beachtende rechtliche Regelungen, Informationen zum umweltgerechten Umgang usw.) sowie die Vermittlung insbesondere der Informationen zum richtigen Umgang mit KSS an die Mitarbeiter in der Produktion. Hierfür haben sich ca. halbjährliche Unterweisungen von max. einer halben Stunde bewährt.

Abfallvermeidung

Neben weiteren Maßnahmen zur Abfallvermeidung (siehe: Metall > Einsatzstoffe > KSS > Emulsionen > Abfallvermeidung) schafft der richtige Umgang die wesentlichen Voraussetzungen für gute Einsatzbedingungen und damit lange Badstandzeiten und gute Bearbeitungsergebnisse. Insbesondere bei KSS-Emulsionen ist schon das richtige Ansetzen und die Verwendung geeigneten Ansetzwassers ein bedeutender Faktor für eine stabile Emulsion. So muss das KSS-Konzentrat immer gleichmäßig und mit guter Durchmischung in das Wasser eingemischt werden, niemals umgekehrt. Anmischstationen, z. B. zur Montage auf das Fass mit Konzentrat oder an die Wasserleitung sind gute Hilfseinrichtungen zur Erzielung optimaler Anmischergebnisse. Zu beachten sind dabei auch die Hinweise des Herstellers zum Anmischen, Auffrischen und zur richtigen Einsatzkonzentration.

Hinweise:
Das Ansetzwasser sollte sauber sein (Regenwasser ist z. B. wegen der hohen Konzentration an Sporen ungeeignet) und einen Härtegrad von 10 – 15 °dH aufweisen. Zu weiches Wasser führt zur Schaumbildung, zu hartes möglicherweise zur Verseifung. Bei abweichenden Wasserqualitäten sollten Sie sich an den KSS-Hersteller wenden. Zum Auffrischen (Ergänzung von Verdampfungsverlusten) sollte dagegen enthärtetes Wasser verwendet werden, da sich durch die Verdampfungsverluste die Härtebildner (z. B. Salze) im KSS-Bad aufkonzentrieren.

Während des Einsatzes ist die Vermeidung von Schmutz- und Fremdstoffeinträgen ein wesentlicher Faktor zur Erzielung langer Badstandzeiten und guter Bearbeitungsergebnisse. Eine wichtige Funktion hat hier der Mitarbeiter an der Maschine. Ihm muss klar sein, dass Kühlschmierstoffe, insbesondere Emulsionen, empfindliche Betriebsstoffe sind und dass er mit zusätzlichen Verunreinigungen nicht nur der Umwelt und dem Betrieb, sondern auch sich selbst schadet. Eine frühzeitige Verkeimung ist in der Regel durch Fremdstoffeinträge verursacht!

Beispiele:
Eine in die Emulsion gekippte Tüte Milch („ist ja auch weiß und fällt daher gar nicht auf“) führt unweigerlich zur schnellen Verkeimung und damit zum notwendigen Biozideinsatz oder Austausch. In den KSS geworfene Zigarettenkippen erhöhen den Nitrit-Gehalt und damit die potenzielle Gefahr der Bildung von krebserzeugenden Nitrosaminen.

Eine regelmäßige Überwachung und Pflege dient sowohl der Abfallvermeidung (lange Badstandzeiten) als auch dem Arbeitsschutz. Die Messung wichtiger Badparameter wie Nitrit-Gehalt (gesetzlich vorgeschrieben gemäß TRGS 611), Konzentration, pH-Wert, Leitfähigkeit und die Keimbelastung hilft in erster Linie Veränderungen frühzeitig zu erkennen und rechtzeitig gezielt gegensteuern zu können.

Arbeitsschutz

Der Umgang mit wassergemischten Kühlschmierstoffen beinhaltet Belastungen der Haut und der Atemwegsorgane. Bei Berücksichtigung der Regeln zum richtigen Umgang können die Risiken jedoch deutlich eingeschränkt werden. Hautkontakte mit KSS lassen sich arbeitstechnisch kaum vermeiden, sollten aber so weit wie möglich minimiert werden. Wichtig ist daher in erster Linie schädigende KSS-Komponenten zu vermeiden (siehe: Metall > Einsatzstoffe > KSS > Auswahl). Längerer Hautkontakt mit wassergemischten KSS führt zu Entfettung und Erweichung der Haut. Geeigneter Hautschutz (siehe: Metall > Einsatzstoffe > KSS > Emulsionen > Arbeitsschutz) ist eine wirksame aber bei den meist männlichen Mitarbeitern unbeliebte Prävention. Besonders wichtig sind daher gerade in diesem Bereich einprägsame Schulungen und Informationen der Mitarbeiter! Hier bieten die Regeln und Informationsschriften der Berufsgenossenschaften (z. B. BGR 143 und BGI 658) gute Informationen und Hilfen.

Bild: Durch Kühlschmierstoffe verursachte Abnutzungsdermatose

Quelle: Privatfoto

Ebenso ist eine Belastung der Atemwegsorgane durch KSS-Aerosole in Bereichen in denen mit KSS gearbeitet wird nicht zu vermeiden aber wirksam einzuschränken. Die Kapselung und Maschinenraumabsaugung bildet hierbei die wesentliche Prävention aber auch das sachgerechte Verhalten der Mitarbeiter spielt eine entscheidende Rolle.

Beispiele:

Zum Abwischen der Hände sollten separate Lappen verwendet werden. Putztücher, mit denen auch Werkstücke und Maschinenteile abgewischt wurden beinhalten meist feine Metallspäne. Diese ritzen beim Abwischen die Haut und ermöglichen das Eindringen von hautschädigenden Substanzen. Im Extremfall kann dies zur Auslösung von Allergien führen. Bei dem noch üblichen Abblasen der KSS mit Pressluft von Werkstücken, die vermessen werden sollen, werden erhebliche Mengen von KSS-Aerosolen in die Umgebung geblasen und führen zu einer erhöhten und unnötigen Atemwegsbelastung. Reinigen Sie die Werkstücke besser mit einem geeigneten, saugfähigen Tuch.

Bei wassergemischten KSS stellt die mögliche Bildung von, als krebserzeugend eingestuften **Nitrosaminen** eine potenzielle Gefahr für die Mitarbeiter dar. Der Einsatz von sekundären Aminen ist daher verboten. Als Leitsubstanz muss der Nitritgehalt 14-tägig bei einem Grenzwert von 20 mg/l gemessen werden. Die genaue Vorgehensweise und Maßnahmen sind in der TRGS 611 geregelt. Hohe Nitrit-Werte sind oft auf mangelnde Pflege oder eingetragene Verunreinigungen wir z. B. Zigarettenkippen, Ruß von Dieselmotoren (Stapler) oder hohe Nitrat/Nitrit-Werte im Ansetzwasser zurückführen.

Umweltschutz

Wassergemischte Kühlschmierstoffe sind in der Regel wassergefährdende Stoffe. Selbst wenn das Konzentrat in der **Wassergefährdungsklasse** (WGK) 1 eingestuft ist, so reichern sich durch den Bearbeitungsprozess zusätzliche umweltgefährdende Substanzen im KSS an (z. B. verschiedene Öle, gelöste Metalle, Biozide usw.). Gebrauchte Kühlschmierstoffe werden daher generell in die WGK 3 eingestuft. Sowohl im Umgang, als auch bei der Lagerung sind daher zum Schutz von Boden und Gewässern die entsprechenden Sicherungsvorgaben der **VAwS** zu beachten. Spritz- und Leckageverluste sind möglichst zu vermeiden (z. B. Spritzschutzwände, Bodenwannen) und andernfalls durch geeignete Aufsaugmassen (z. B. Ölbindemittel, Sägespäne) aufzunehmen, was aber wiederum ein zusätzliches Abfallaufkommen bedeutet. Egal in welcher Form und in welcher Menge, wassergemischte Kühlschmierstoffe dürfen generell nicht über die Kanalisation entsorgt werden. Sie sind als **Sonderabfall (gefährlicher Abfall)** in der Regel unter Abfallschlüssel 12 01 09* zu entsorgen. Chlorhaltige Additive sollten in wassergemischten KSS nicht mehr enthalten sein, andernfalls sind diese unter AS 12 01 08* gesondert zu erfassen und zu entsorgen. Weitere Hinweise zur innerbetrieblichen Abfallbehandlung und zur Entsorgung finden Sie unter Metall > Einsatzstoffe > KSS > Emulsionen > Entsorgung.

Tipp: Die KSS-Hersteller verfügen über einen großen Erfahrungsschatz zum richtigen Umgang mit Kühlschmierstoffen. Nutzen Sie deren Erfahrungen und lassen sie sich unterstützen und beraten.

Zu guter Letzt: Der richtige Umgang mit wassergemischten Kühlschmierstoffen bedeutet einen nicht zu vernachlässigenden Aufwand. Durch Trockenbearbeitung lässt sich dieser Aufwand vermeiden. Es lohnt sich daher zu prüfen, ob die Trockenbearbeitung nicht auch bei Ihren Bearbeitungsprozessen realisierbar wäre. Weitere Informationen finden Sie unter Metall > Produktionsverfahren > Trockenbearbeitung.

Maßnahmen zur Abfallvermeidung bei wassergemischten Kühlschmierstoffen, KSS-Emulsionen und -Lösungen

Verworfene Kühlschmierstoffe (KSS) sind in den meisten metallverarbeitenden Betrieben die bedeutendste Einzelposition an **Sonderabfällen (gefährliche Abfälle)** und beinhalten auch einen dementsprechenden Kostenfaktor. Die Entsorgungskosten sind jedoch nur ein kleiner Anteil der mit dem KSS-Einsatz verbundenen Kosten (siehe: Metall > Produktionsverfahren > Spanend > Nassbearbeitung > Kosten). Maßnahmen zur Abfallvermeidung beinhalten daher nicht nur eine Schonung der Umwelt, sondern auch finanzielle Vorteile.

Hinweis:
Bei Überlegungen zur Abfallreduzierung sind Maßnahmen zur Abfallvermeidung vorrangig vor einer Verwertung vor einer umweltgerechten Beseitigung zu prüfen. Dies ist nicht nur eine gesetzliche Vorgabe (**KrWG**), sondern trägt auch zur Ressourcenschonung und Zukunftssicherung für den Betrieb und die Gesellschaft bei. Produktionsintegrierte, abfallarme Technologien bieten gegenüber nachgeschalteten (**additiven**) Techniken im Allgemeinen auch wirtschaftliche Vorteile. Dies gilt insbesondere dann, wenn nicht nur der reine Abfallaspekt (Entsorgungskosten) sondern alle Faktoren (z. B. Beschaffung, Energie, Arbeitsschutz, Logistik) betrachtet werden.

Graphik: Hierarchie zur Abfallvermeidung und -Verwertung bei Kühlschmierstoffen

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Die nachfolgend beschriebenen Maßnahmen zur Abfallvermeidung beziehen sich, wegen der deutlich unterschiedlichen Ansatzpunkte, nur auf **wassergemischte KSS**, d. h. KSS-Emulsionen und KSS-Lösungen. Maßnahmen zur Abfallvermeidung beim Einsatz **nicht wassermischbarer KSS** (KSS-Öle) finden Sie hier (siehe: Metall > Einsatzstoffe > KSS > Öle > Abfallvermeidung).

So sollten Sie vorgehen

Die wichtigsten Ansatzpunkte zur Abfallvermeidung bei wassergemischten KSS
1. Erfassen des Ist-Zustands im Betrieb 2. Verzicht auf den KSS-Einsatz, d. h. Umstellung auf Trockenbearbeitung/Minimalmengen-Schmierung 3. Reduzierung der Einsatzmengen und der Austragsverluste 4. Verlängerung der Badstandzeiten 5. Bei größeren Anfallmengen: Innerbetriebliche Abfallbehandlung

Bei den meisten Betrieben dürften erfahrungsgemäß kurzfristig die größten Potenziale bei Maßnahmen zur Verlängerung der Badstandzeit und langfristig bei der Einführung der Trockenbearbeitung vorhanden sein.

Im Folgenden wird auf die einzelnen Ansatzpunkte näher eingegangen.

Trockenbearbeitung

Früher fast ausschließlich bei der Graugussbearbeitung angewandt haben die **Trockenbearbeitung** sowie die Minimalmengen-Schmierung (**MMS**) in den letzten 15 Jahren einen großen Entwicklungsschub erfahren und stehen jetzt an der Schwelle zur breiten Umsetzung.

Vorteil der Trockenbearbeitung ist, dass neben der Vermeidung KSS-bedingter Abfälle (verbrauchte Kühlschmierstoffe, Putzlappen, Ölbindemittel usw.) teilweise ganze Prozessschritte eingespart werden können (z. B. Reinigung der Werkstücke), der Reinigungsaufwand für die Maschine und der Umgebung reduziert und Bearbeitungszeiten verkürzt werden. Somit ergänzen sich bei dieser Technik Effektivitätssteigerung und Verbesserung der betrieblichen Umweltsituation.

Wegen der Bedeutung des Themas als Technologie zur Steigerung der Ökoeffizienz bei der Metallbearbeitung sind die Vorteile, die Einsatzbereiche und die Vorgehensweise zur betrieblichen Einführung der Trockenbearbeitung auf separaten Seiten (siehe: Metall > Produktionsverfahren > Spanend > Trockenbearbeitung) beschrieben.

Neben der Trockenbearbeitung sollten auch weitere abfallarme Formgebungsverfahren, wie z. B. Strangpressen, Pulvermetallurgie oder Feinguss als Alternativen zur spanenden Formgebung die in die Überlegungen mit einbezogen werden. Sie kommen jedoch meist nur bei großen Stückzahlen in Betracht.

Reduzierung der Einsatzmengen und der Austragsverluste

Mengenminimierung beim KSS-Einsatz: Mit dem Grundsatz „so wenig wie möglich, so viel wie nötig“ lassen sich oft durch systematische Überprüfung des wirklich erforderlichen Bedarfs die KSS-Einsatzmengen deutlich reduzieren.

Vereinheitlichung und Reduzierung der eingesetzten KSS-Sorten: Moderne KSS weisen heute ein breites Anwendungsspektrum auf, so dass die Anzahl der eingesetzten KSS auf ein Minimum reduziert werden kann (siehe: Metall > Einsatzstoffe > KSS > Auswahl). Als Richtlinie kann man sagen, dass in den meisten Betrieben 1–2 wassermischbare und 1–2 nicht wassermischbare KSS ausreichen. Wenige KSS-Sorten vereinfachen die betriebliche Materialwirtschaft und Logistik und ermöglichen unter Umständen eine zentrale KSS-Versorgung, was den Aufwand für Überwachung und Pflege insbesondere bei wassergemischten KSS erheblich reduziert und somit nicht nur KSS-Mengen sondern vor allem auch Kosten einspart.

Reduzierung der Austragsverluste: Eine indirekte Abfallvermeidungsmaßnahme ist die Reduzierung der KSS-Verschleppungen über Werkstücke, Späne, ggf. Schleifschlämme sowie Spritzverluste und Maschinenleckagen.

Die ausgetragenen KSS-Mengen sind bei KSS-Ölen erheblich höher (höhere Viskosität) als bei wassergemischten KSS und können ein Mehrfaches des Badinhalts pro Monat ausmachen. Diese gehen einerseits dem Arbeitsprozess verloren (Nachfüllbedarf, Kostenfaktor) und gelangen andererseits entweder in nachfolgende Prozesse (z. B. Waschbäder, reduziert deren Standzeit und bedeutet zusätzliche Abfallmenge) oder in die Entsorgung, oft zusammen mit Spänen oder Schlämmen. Durch

- Abtropfzonen (Werkstücke, Späne)
- Schleudern (Kleinteile, Späne) sowie
- Auspressen oder Zentrifugieren (Späne, Schleifschlämme)

lassen sich erhebliche Anteile der ausgetragenen KSS abtrennen und auffangen. Bei KSS-Emulsionen kann die Rückführung in den KSS-Kreislauf jedoch nur mit Einschränkungen erfolgen (KSS-Hersteller befragen). Über Abtropfzonen aufgefangenen KSS sind in der Regel problemlos wieder rückführbar, der KSS-Sumpf aus Spänekübeln sollte dagegen der Entsorgung zugeführt werden (Gefahr der Verkeimung durch Schmutzeinträge).

Optimierung der Badstandzeiten

Die Verlängerung der Badstandzeiten durch Überwachung und Pflege stellt insbesondere bei wassermischbaren KSS in vielen Fällen auch heute noch das zumindest kurzfristig bedeutendste Abfallverminderungs- und damit auch Kosteneinsparungspotenzial dar. In den seltensten Fällen müssen KSS verworfen und entsorgt werden, weil sie durch Verschleiß im Bearbeitungsprozess unbrauchbar geworden sind. Vielmehr führen zusätzliche Belastungen, wie Verunreinigungen (Fremdöle, Fremdflüssigkeiten, feine Späne, Staub, Abfälle usw.), Verkeimung (über Luft, Bauteile) und unzureichende Pflege zum vorzeitigen Ausfall. Durch präventive Maßnahmen, geeignete Pflege in Kombination mit einer regelmäßigen Überwachung lassen sich die Badstandzeiten oft erheblich verlängern.

Grafik: Kostenentwicklung bei KSS-Emulsionen in Abhängigkeit von der Badstandzeit

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Die Grafik veranschaulicht, dass gerade bei Badstandzeiten im Wochenbereich Optimierungs-maßnahmen mit einer deutlichen Kostenreduzierung verbunden sind.

Mit geeigneten Badpflegemaßnahmen (Abtrennung von Fremdölen, Entfernung von Feststoffen, ausreichende Belüftung und erforderlichenfalls Kühlung) lassen sich gute Badstandzeiten erzielen. Als Anhaltswerte gelten ½ Jahr für einzelversorgte Maschinen und 2 bis 3 Jahre bei Zentralanlagen. Aus umwelttechnischer Sicht haben Zentralanlagen damit den Vorteil eines deutlich geringeren Abfallaufkommens, in der Regel verbunden mit Vorteilen beim Arbeitsschutz durch bessere Pflege- und Überwachungsmöglichkeiten.

Praxisbeispiel Verlängerung der Badstandzeiten beim Hartmetallschleifen	
Betriebliche Randbedingungen	Mittelständischer Betrieb aus dem Bereich der Werkzeugherstellung Hartmetallbearbeitung mit synthetischer KSS-Lösung Insgesamt 64 einzelversorgte Maschinen á 100 – 150 l Badvolumen
Ausgangssituation	• Keine Überwachungs- und Pflegemaßnahmen • Standzeit der KSS-Bäder ca. 4 Wochen • Zu entsorgende KSS-Menge ca. 100m³/a
Maßnahmen	• Einsatz einer mobilen Pflegeanlage: Drei-Phasen-Lamellenseparator • KSS-Pflege 1 x pro Woche. Aufwand ca. 2 h
Ergebnisse	• KSS-Lösung nach Durchlauf wieder „glasklar“ • Standzeitverlängerung auf drei Monate (Faktor 3) • KSS-Entsorgungsmenge wurde auf ca. 30 m³/a reduziert, entsprechend auch die Einkaufsmenge • HM-Schlamm konnte mit besseren Erlösen verkauft werden

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Die Vorgehensweise, sowie geeignete Überwachungs- und Pflegemaßnahmen finden Sie auf der folgenden Seite.

Überwachung und Pflege von Kühlschmierstoffen

Insbesondere bei KSS-Emulsionen, aber auch bei KSS-Lösungen (wassergemischte Kühlschmierstoffe) sind eine systematische Überwachung und eine bedarfsorientierte Pflege wichtig. Sie schaffen die Voraussetzungen für lange Badstandzeiten, eine gute Arbeitsplatzhygiene und liefern auch einen Beitrag zur Kostenreduzierung.

KSS-Überwachung und -Pflege, aber wie?
Die strukturierte Vorgehensweise hierfür basiert auf vier Bausteinen: • 1) Definieren Sie Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten: Wer kümmert sich um was? • 2) Achten Sie bei der KSS-Auswahl (siehe: Metall > Einsatzstoffe > KSS > Auswahl) auf umweltverträgliche Einsatzstoffe und stimmen Sie die KSS auf den Gesamtprozess ab • 3) Informieren und schulen Sie Ihre Mitarbeiter zum richtigen Umgang mit KSS • 4) Ergreifen Sie technische und organisatorische Maßnahmen zur Badstandzeitverlängerung   o Vermeidung von Fremdstoffeinträgen

- Messen und dokumentieren wichtiger Badparameter
- Einführung geeigneter Pflegemaßnahmen

Vorrangige Aufgabe der KSS-Pflege ist dafür zu sorgen, dass Verunreinigungen möglichst gar nicht erst ins KSS-Bad gelangen. Erst wenn ein Fremdstoffeintrag unvermeidbar ist (z. B. Hydraulikleckagen, feine Späne, Schleifmittelabrieb usw.) muss mit technischen Maßnahmen für deren Entfernung gesorgt werden.

Die durch verschiedene Quellen in den KSS eingetragenen **Verunreinigungen lassen sich unter den Überbegriffen Fremdöle und Feststoffe zusammenfassen**:

Fremdöle verändern die KSS-Eigenschaften, bieten die Nahrungsgrundlage für verstärktes Keimwachstum und können durch Luftabschluss anaerobe Zustände hervorrufen und damit ein schnelles Umkippen der Emulsion oder Lösung bewirken. **Eintragsquellen für Fremdöle sind z. B.:** Beölte Halbzeuge und Werkstücke, Hydrauliköle, Bettbahnöle. Achten Sie darauf, dass möglichst geringe Ölmengen in das KSS-Bad gelangen!

Feststoffe beschleunigen durch ihre große Oberfläche chemische Umsetzungsreaktionen und bilden einen guten Nährboden für die Entwicklung von Keimen und Pilzen. **Eintragsquellen für Feststoffe sind z. B.:** Feine Späne, Schleifmittelabrieb, Schmutz und Staub von den zu bearbeitenden Teilen, Auswaschungen aus der Luft (z. B. Staub, Ruß, NOx, Keime). Achten Sie auch hier darauf, dass möglichst wenige Verunreinigungen in das KSS-Bad gelangen!

Die **Auswahl geeigneter Reinigungs- und Pflegeverfahren** ist angesichts der Vielfalt am Markt angebotener Systeme nicht ganz einfach und sollte sich in erster Linie nach den betrieblichen Anforderungen richten.

Zur Auswahl eines geeigneten Reinigungssystems helfen Ihnen folgende Kriterien
• Betriebliche Anforderungen o Art des eingesetzten KSS-Typs (Emulsion oder Lösung) o Art der primär eingetragenen Verunreinigungen o Geforderter Reinigungsgrad des Bearbeitungsprozesses (z. B. beim Schleifen) o Anlagengröße bzw. Umfang des Maschinenparks • Prioritäten (anwendungsspezifisch) o Entfernung der eingetragenen Fremdöle o Entfernung von Feststoffen o Kombinationssysteme o Zentralanlage

Grundsätzlich sollte die **Entfernung von aufschwimmenden Fremdölen** (sichtbar als Ölfilm/ Ölplacken) die vorrangige Maßnahme sein. Mit vergleichsweise geringem Aufwand lassen sich damit die Badstandzeiten oft erheblich verlängern. Wenn ein hoher Eintrag feiner fester Verunreinigungen, wie z. B. beim Schleifen insbesondere von Guss- und Hartmetallen in das KSS-Bad erfolgt, sollten diese mit geeigneten Verfahren regelmäßig entfernt werden.

Tabelle: Übersicht und Einsatzkriterien für Verfahren zur KSS-Reinigung

Reinigungsverfahren für Kühlschmierstoffe						
	Anlagen / Verfahren	geeignet zur Abtrennung		Wirkung / Abscheide-grad	Investition	Wartungs-aufwand
		fester Fremd-stoffe	Fremdöle			
Fremdöle	Skimmer (Scheiben-, Band-, Schlauchskimmer)		x	mittel	niedrig	gering
	Koaleszensabscheider (Coalisier-Plattenseparator)		x	hoch	mittel	mittel
	Ringkammerentöler	(x)	x	mittel	mittel	gering
	Separatoren (Zwei-Phasen-Separatoren)		x	hoch	hoch	mittel
Feststoffe	Magnetabscheider	x		gering	niedrig	gering
	Bandfilter, Umlaufbandfilter, Schwer-kraft-,Unterdruck-,Überdruckbandfilter	x		mittel-(hoch)	mittel-(hoch)	gering
	Sedimentationsbehälter (ggf. mit Austragsvorrichtung)	x		mittel	niedrig	einfach
	Rückspülbarer Spaltfilter	x		mittel	mittel	einfach
	Anschwemmfilter(nur für KSS-Öle)	x		hoch	hoch	hoch
	Hydrozyklone	x		mittel	gering	gering
Feststoffe und Fremdöle	Sedimentationsbehälter mit Ölskimmvorrichtung	x	x	mittel	niedrig	gering
	Lamellenschrägklärer	x	x	mittel-(hoch)	mittel	mittel
	Zentrifugalseparatoren					
	- Drei-Phasen-Separatoren	(x)	x	hoch	hoch	mittel-(hoch)
	- Drei-Phasen-Dekanter	x	x	hoch	hoch	mittel

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Bei längeren Badstandzeiten kann es durch die kontinuierlichen Verdampfungsverluste zu Aufkonzentrationen gelöster Störstoffe, z. B. Salze kommen. Die Verwendung von **entionisiertem (VE-) Wasser zum Auffrischen** von Emulsionen und Lösungen vermeidet diese Effekte und damit eine Destabilisierung des KSS.

Tipp:
Um anaerobes Keimwachstum verbunden mit Korrosionsproblemen an den Maschinen zu vermeiden, ist es bei wassergemischten KSS wichtig, den KSS-Behälter regelmäßig und ausreichend zu belüften. Dies kann bei Maschinenstillstand (z. B. an Wochenenden) durch gelegentliche Badumwälzung (Zeitschaltuhr) oder Eindüsen von Luft (System Aquariumpumpe) auch bei kleinen Anlagen kostengünstig sichergestellt werden.

Parallel zu den genannten Pflegemaßnahmen sollten KSS-Bäder systematisch überwacht werden um Veränderungen zu erkennen und rechtzeitig gegensteuern zu können. Mit etwas Erfahrung kann man schon mit einer **sensorischen Beurteilung** bereits wesentliche Informationen über den Zustand des KSS erfassen.

Grafik: Sensorische Beurteilung von wassergemischten KSS

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Ergänzend sollten die **wichtigsten Parameter gemessen und dokumentiert** werden: Nitrit-Gehalt (Pflicht gemäß TRGS 611), Konzentration, pH-Wert, Temperatur, Leitfähigkeit, Verkeimungsgrad und bei Zentralanlagen ggf. der Biozidgehalt. Mit teilweise einfachen Mitteln (Nitrit-Messstäbchen Handrefraktometer, pH-Papier, Thermometer und Dip-Slides) lassen sich gute Anhaltswerte für den Zustand des KSS gewinnen. Auf jeden Fall sollten die gemessenen Werte auch im Zusammenhang mit gegebenenfalls ergriffenen Maßnahmen dokumentiert werden. Dies hilft Ihnen bei auftretenden Problemen, insbesondere wenn diese wiederholt vorkommen.

Tabelle: Parameter und Anhaltswerte zur Überwachung von wassergemischten KSS

Parameter	- üblicher Bereich	Meßsysteme	Messungen	Maßnahmen
	- Grenzwert	z.B.	pro Woche	
Konzentration	- 2 – 10% (anwendungs-spezifisch) - Abw. um 0,5%	Refraktometer Spaltkolben	2-3	mit fetter Emulsion nachdosieren mit VE-Wasser und magerer Emulsion verdünnen
pH-Wert	- ca. 9 (produktspezifisch) – deutliches Absinken	pH-Papier pH-Meter	1-2	Indikator für: - Konzentrationsänderung - zu hohe Keimbelastung - Alterung
Nitritgehalt	- 0 –10 mg/l - > 20 mg/l	Nitritmessstäbchen Analyse	1	Analyse auf Nitrosamine ggf. KSS-Wechsel
Leitfähigkeit	- 100 – 1000 µs - > 5000 µs	Leitfähigkeits-Messgerät	0,5	Indikator für hohe Schadstoffgehalte wie z.B. gelöste Schwermetalle.

				Analyse u.ggf. KSS-Wechsel
Keimbelastung	- < 10^4 Keime/ml - > 10^6 Keime/ml	Keimindikatoren Dip-Slides	1	Biozide nachdosieren ggf. KSS-Wechsel
Temperatur	- ca. 20 °C - > 25 °C	Thermometer	bei Tempera-turspitzen	Badgröße prüfen Kühleinrichtung
Biozidgehalt	- stoffspezifisch z.B. Formaldehyd-abspalter 0,1-0,2% - 0,2%	Analyse	1-2	Bei Grenzwertunter-schreitung gezielte Nachdosierung

Quelle: ABAG-itm in Anlehnung an BGR 143

Formblätter zur Dokumentation sind meistens bei den KSS-Herstellern verfügbar.

Insbesondere bezüglich des Aufwands zur Überwachung und Pflege wird der **Vorteil von Zentralanlagen** gegenüber der Einzelversorgung schnell deutlich. Schon durch die größeren Badvolumina (und die darin enthaltenen höheren Materialwerte) kann bei größeren Anlagen auch eine höherwertige Technik bei reduziertem Aufwand zur Überwachung und Pflege der KSS eingesetzt werden kann. Zudem finden eine bessere Vermischung und eine Nivellierung bei lokal höherer Temperaturbelastung statt. **Es lohnt sich also die Einsatzmöglichkeiten der Zentralanlagentechnik zu prüfen**. Informationen hierzu finden Sie hier. (siehe: Metall > Produktionsverfahren > Spanend > Nassbearbeitung > Versorgung)

Innerbetriebliche Abfallbehandlung

Nicht mehr einsatzfähige wassergemischte Kühlschmierstoffe bestehen in der Regel zu über 90 % aus Wasser, bei KSS-Lösungen liegt der Wassergehalt sogar noch deutlich höher. Eine abfallreduzierende Maßnahme ist daher auch die Abtrennung der Wasserphase in einer zur Einleitung in die Kanalisation geeigneten Qualität. Auf zur **Emulsionsspaltung** und zur Aufkonzentration von KSS-Lösungen geeignete Verfahren wird auf der nächsten Seite "interne Aufarbeitung und Entsorgung" detailliert eingegangen. Auch wenn sich eine innerbetriebliche Emulsionsspaltanlage bei größerem Aufkommen an Altemulsion rechnet (bei derzeitigen Entsorgungspreisen ab ca. 100 m³/a), so handelt es sich hierbei um eine rein additive Maßnahme.

Hinweis:
Wie bereits angeführt bieten produktionsintegrierte, abfallarme Technologien gegenüber nachgeschalteten (additiven) Techniken meist auch wirtschaftliche Vorteile. Es sollten daher vorrangig die Maßnahmen zur Optimierung des KSS-Einsatzes ausgeschöpft werden, bevor in eine Behandlungsanlage investiert wird. Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sollten dabei nicht nur der reine Abfallaspekt (Entsorgungskosten) sondern alle Faktoren (z. B. Beschaffung, Energie, Arbeitsschutz, Logistik) einbezogen werden.

Interne Aufarbeitung und Entsorgung von wassergemischten Kühlschmierstoffen: KSS-Emulsionen und -Lösungen

Bundesweit fallen ca. 600.000 t verbrauchter wassergemischter Kühlschmierstoffe zur Entsorgung an. Den Hauptanteil stellen dabei KSS-Emulsionen. **Verbrauchte Kühlschmierstoffe sind generell als gefährliche Abfälle (Sonderabfälle) eingestuft.** Dabei müssen die verschiedenen Abfallarten (z. B. chlorhaltige KSS) den zutreffenden Abfallschlüsseln nach **AVV** zugeordnet und getrennt gesammelt werden. Dies verbessert auch deren Behandlungs- und gegebenenfalls Verwertungsmöglichkeiten.

Zuordnung von wassergemischten Kühlschmierstoffen zu Abfallschlüsseln gemäß AVV
12 01 08* halogenhaltige Bearbeitungsemulsionen und –lösungen 12 01 09* halogenfreie Bearbeitungsemulsionen und –lösungen

Wassergemischte KSS bestehen zu über 90 % aus Wasser, bei KSS-Lösungen auch noch deutlich höher. Sie müssen daher als Vorbehandlung einer chemisch-physikalischen Behandlung (CPB) zur Abtrennung der Wasserphase unterzogen werden. Im Unterschied zu **KSS-Emulsionen** können **KSS-Lösungen**, die bevorzugt beim Schleifen eingesetzt werden, nicht mit üblichen Emulsionsspaltverfahren (z. B. Ultrafiltration, org. und anorg. Spaltung) aufgetrennt werden. Eine separate Erfassung ist daher zu empfehlen auch wenn hierfür kein separater Abfallschlüssel zur Verfügung steht.

Chlorhaltige KSS (die heute generell durch umweltgerechtere KSS ersetzt werden können!) sind beim Entsorgen besonders problematisch (Gefahr der Dioxinbildung) und mit entsprechend hohen Entsorgungskosten verbunden. Sie müssen daher **getrennt gesammelt** und in geeigneten Anlagen (Sonderabfallverbrennung, höhere Kosten) beseitigt werden.

Möglichkeiten der innerbetrieblichen Behandlung von wassergemischten KSS

Die generell zur Abtrennung der Wasserphase erforderliche Vorbehandlung kann sowohl mit einer innerbetrieblichen Anlage als auch in einer zentralen Anlage (Chemisch-Physikalische Behandlung) eines Entsorgers erfolgen. Für einen metallverarbeitenden Betrieb ist dies daher vorwiegend eine Frage der **Wirtschaftlichkeit**.

Da sich die Entsorgungskosten derzeit im langjährigen Vergleich auf niedrigem Niveau befinden ist eine **innerbetriebliche Emulsionsspaltung in der Regel erst ab einem Abfallaufkommen von > 100 m³/a wirtschaftlich interessant**. Mit in die Betrachtung einbezogen werden sollten **auch andere wässrige Abfälle** wie z. B. Reinigungsemulsionen, Gleitschleifabwässer und ggf. Waschwässer aus Lackieranlagen, da diese teilweise mit den gleichen Anlagen behandelt werden können.

Tabelle: Beispielhafter Kostenvergleich: Entsorgung von KSS-Emulsionen gegenüber betriebsinterner Emulsionsspaltung

	Externe Entsorgung	**Betriebsinterne Emulsionsspaltung durch**	
		Vakuumverdampfung	**Ultrafiltration**
Menge [m³]	100	100	100
Anlagenleistung l/h		150	150
Zeitbedarf h		666,6	666,6
Anlagenstundensatz €/h		10,50	9,50
spez. Energiebedarf kWh/m³		90,0	50,0
Gesamtenergiebedarf kWh (beh. Menge x spez. En.) und Kosten (0,1€/kWh) €		9.000 900,00	5.000 500,00
Gesamtkosten Behandlung €	**- . -**	**7.899,30**	**6.832,70**

Aufkonzentrationsrate %		90,0	85,0
Konzentratmenge m³		10,0	15,0
Entsorgungskosten €/m³	120,00	130,00	130,00
Transportkosten €/m³	8,00	10,00	10,00
Gesamtkosten Entsorg. €	**12.800,00**	**1.400,00**	**2.100,00**
Gesamtkosten €	**12.800,00**	**9.299,30**	**8.932,70**
Destillatmenge m³		90,00	85,00
Kosten Frischwasser €/m³		4,00	4,00
Einsparungen bei Wiedereinsatz des Destillats, z. B. als Ansetzwasser für KSS €		**360,00**	**340,00**

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Zur Behandlung von zu entsorgenden KSS-Emulsionen und -Lösungen stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. **Aus heutiger Sicht können nur noch Behandlungsverfahren empfohlen werden, bei denen die ölhaltige- und die Wasserphase in verwertbarer bzw. einleitfähiger Qualität entstehen**. Diese Bedingungen werden von

- Membranverfahren (Ultrafiltration / Umkehrosmose)
- Eindampfverfahren (Vakuumverfahren mit Brüdenverdichtung)
- Spaltung mittels organischer Chemikalien

erfüllt. Die wesentlichen Vor- und Nachteile sind in nachfolgender Übersicht zusammengefasst. Die in der Vergangenheit häufig anzutreffende Spaltung mittels anorganischer Spaltmittel (Salz-/Säure-Spaltung) entspricht wegen des erheblichen Anfalls organisch belasteter Fällungsschlämme nicht mehr dem Stand der Technik.

Tabelle: Zur innerbetrieblichen Behandlung von KSS-Emulsionen geeignete Verfahren

Membranverfahren: Ultrafiltration	
Vorteile:	Nachteile:
• Breites Erfahrungspotenzial verfügbar • Keine Abfallvermehrung durch zusätzliche Chemikalien • Beide Stoffgruppen, Retentat und Permeat, prinzipiell verwertbar • Moderate Betriebskosten	• Jeweils spezifische Vorversuche erforderlich • Begrenzte Membranstandzeit • Relativ hohe Investitionskosten • Wasseranteil im Retentat 40 – 60 % • Spaltwasser muss meist nachbehandelt werden (zu hoher KW-Gehalt)
Eindampfungsverfahren: Vakuumverdampfer mit Brüdenverdichtung	
Vorteile:	Nachteile:
• Verfahren universell für breites Abfallspektrum einsetzbar (auch für KSS-Lösungen) • Kein Einsatz von Chemikalien	• Höhere Investitionskosten • Höherer Energieverbrauch • Gefahr der Verschleppung wasserdampfflüchtiger Bestandteile, d.

• Öl- und Wasserphase meist wieder verwertbar • Restwassergehalt < 10 % möglich	h. Wasserphase muss meist nachbehandelt werden
Spaltung mit organischen Chemikalien	
Vorteile:	Nachteile:
• Keine zusätzliche Schlammproduktion • Keine Aufsalzung der Wasserphase • Gut als Vorspaltung einsetzbar • Einfache Anlagentechnik • Ölphase verwertbar	• Verfahren nicht universell einsetzbar • Geschultes Personal erforderlich • Zusätzliche Spaltmittel erforderlich • Spaltwasser muss meist nachbehandelt werden (zu hoher KW-Gehalt)

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Die aus der Aufarbeitung resultierende **Ölphase** kann dann der **Verwertung** zugeführt werden (vorwiegend energetisch). Die Wasserphase sollte auf betriebliche Wiedereinsatzmöglichkeiten geprüft, ansonsten unter Beachtung der Einleitbedingungen in die Kanalisation abgegeben werden. Zu Verwertungsmöglichkeiten und bei Entsorgungsfragen sollten Sie sich von Ihrem örtlichen Entsorger oder unabhängigen Beratungseinrichtungen beraten lassen.

Aspekte des Arbeitsschutzes beim Umgang mit KSS-Emulsionen und -Lösungen

Beim Umgang mit wassergemischten KSS spielen zwei Aspekte eine besondere Rolle:

- **der Hautschutz** sowie
- **die Gefährdung von Atemwegsorganen durch KSS-Nebel und Dämpfe**

Wassergemischte KSS haben eine entfettende und reizende Wirkung auf die Haut und zerstören bei längerer Einwirkzeit den natürlichen Säureschutzmantel. **Hautkontakte** mit KSS können jedoch arbeitstechnisch oft nicht vermieden werden, so dass bedeutsam ist, hautschädigende KSS-Komponenten zu vermeiden, Hautschutzpläne zu erstellen und die Mitarbeiter über den richtigen Umgang und über Schutzmaßnahmen zu informieren. Hier bieten die Regeln und Informationsschriften der BGMET Berufsgenossenschaft Metall Nord-Süd.

- BGI 658 Hautschutz in Metallbetrieben
- BGR 143 Umgang mit Kühlschmierstoffen

wichtige Hilfen. Ebenso sollten die KSS-Hersteller bei Fragen zum Arbeitsschutz mit herangezogen werden. Durch KSS-haltige Aerosole können die **Atemwegsorgane** geschädigt werden. Der ehemalige **MAK**-Wert für KSS betrug 10 mg/m³. Ergänzend dazu sind KSS-Emissionen in Arbeitsbereiche nach Möglichkeit wirksam einzuschränken. Die Kapselung und Maschinenraumabsaugung bildet hierbei die wesentliche Prävention aber auch das sachgerechte Verhalten der Mitarbeiter spielt eine entscheidende Rolle. Nachfolgende Tabelle fasst wichtige Maßnahmen zum Schutz der Mitarbeiter zusammen

Technische Maßnahmen
• Kapselung der Werkzeugmaschinen • Maschinenraumabsaugung mit Ableitung ins Freie und/oder Abluftreinigung • Spritzschutzbleche bei offenen Maschinen
Organisatorische Maßnahmen
• Erstellung von arbeitsplatzbezogenen Betriebsanweisungen

• Unterweisung/Schulung der Mitarbeiter im richtigen Umgang mit KSS • Aufstellung eines Hautschutzplans (vgl. BGI 658) • Aufstellung eines Wartungsplans zur Überwachung und Pflege der KSS • Festlegung von Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten zum Einsatz von KSS, am besten über die Bestellung eines KSS-Beauftragten
Persönliche Schutzmaßnahmen
• Beim Hantieren mit KSS-Konzentraten sollten immer Handschuhe und Schutzbrille getragen werden, Hautkontakte so gering wie möglich halten • Bei Spritzgefahr (z. B. Ansetzen, Umfüllen, fehlender Maschinenabdeckung) sollte ölbeständige Schutzkleidung getragen werden. • Hände nie mit Kühlschmierstoffen waschen • Hände nicht mit Putzlappen säubern, die Metallspäne enthalten können • Nach Möglichkeit bei unvermeidbarem KSS-Kontakt Schutzhandschuhe tragen • Nicht mit KSS-behafteten Händen Nasen-, Mundschleimhaut oder Augen berühren • KSS-haltige Putzlappen nicht in die Tasche stecken • Nasse oder verölte Arbeitskleidung wechseln • Hautschutzmittel vor der Arbeit und Hautpflegemittel nach der Arbeit gemäß Hautschutzplan verwenden • KSS-behaftete Teile nicht mit Pressluft abblasen (hohe Aerosolerzeugung) • Ess- und Rauchverbot in Arbeitsräumen beachten

Quelle: ABAG-itm GmbH, Pforzheim

Um insbesondere die persönlichen Arbeitsschutzmaßnahmen im Umgang mit wassergemischten KSS sicher zu stellen, ist es wichtig, dass die betroffenen Mitarbeiter gut informiert sind mit welchen Medien sie arbeiten und was sie zum eigenen Schutz tun können und sollten. Ein wichtiger Schritt hierzu ist die Erstellung und Bekanntmachung einer Betriebsanweisung. Eine Vorlage für eine **Betriebsanweisung „Umgang mit wassergemischten Kühlschmierstoffen bei mechanischer Bearbeitung“** ist über die BGMET Berufsgenossenschaft Metall Nord-Süd als Word-Datei verfügbar, so dass sie einfach an die betrieblichen Begebenheiten angepasst werden kann.

Hautschutzmaßnahmen sind gerade bei männlichen Mitarbeitern unbeliebt. Hier bietet die BGI 658 der BGMET Berufsgenossenschaft Metall Nord-Süd gute Vorlagen zur Aufstellung eines Hautschutzplans. Informationsschriften, Vorlagen und Schulungsunterlagen stehen auch über Hautschutzmittel-Hersteller und KSS-Hersteller zur Verfügung.

Muster eines Hautschutz- und Hygieneplanes

(Firmenlogo)	Hautschutz- und Hygieneplan „Mechanische Fertigung“			
	Handschuhe	Hautmittel für		
		Hautschutz	Hautreinigung	Hautpflege
Maschinenbedienung Hautkontakt zu wassergemischten KSS			Verschmutzung leicht stark	normale Haut
				trockene Haut
Maschinenbedienung Hautkontakt zu nicht wassermischbaren KSS			Verschmutzung leicht stark	normale Haut
				trockene Haut

Quelle: BerufsgenossenschaftMetall Nord-Süd, BGR/GUV-R 143

In wassergemischten KSS verbotene Inhaltsstoffe sind insbesondere sekundäre Amine. Im Zusammenhang mit Nitrit können sie als krebserzeugend eingestuften Nitrosamine bilden. Als Leitsubstanz muss in wassergemischten KSS daher der Nitritgehalt anfänglich 14-tägig bei einem Grenzwert von 20 mg/l gemessen werden. Die genaue Vorgehensweise und Maßnahmen sind in der TRGS 611 geregelt. Hohe Nitrit-Werte sind oft auf mangelnde Pflege (Verkeimung) oder eingetragene Verunreinigungen wir z. B. Zigarettenkippen, Ruß von Dieselmotoren (Stapler) oder hohe Nitrat/Nitrit-Werte im Ansetzwasser zurückführen.

Die Verwendung von als **allergisierend eingestufter Inhaltsstoffe** in wassergemischten KSS sollte nach Möglichkeit vermieden und ansonsten von Fachpersonal (eigenes Labor, Labor des KSS-Herstellers) überwacht werden. Dies betrifft insbesondere Mikrobiozide, Korrosionsinhibitoren, Antioxidantien, EP-Wirkstoffe, Duftstoffe aber auch über Werkstoffe eingetragene Metall-Ionen wie Nickel-, Cobalt-, Chrom-III- und Chrom-VI-Ionen. Die letzte Gruppe muss insbesondere bei der **Hartmetall-Bearbeitung** (in KSS gelöste Cobalt-Anteile) beachtet werden.

Umweltgerechter Einsatz von nicht wassermischbaren Kühlschmierstoffen, KSS-Öle

KSS-Öle werden bevorzugt bei Bearbeitungsverfahren eingesetzt, bei denen die **Anforderungen an die Schmierfähigkeit** des KSS besonders hoch sind. Durchschnittlich wird bei ca. 10 % der metallverarbeitenden Prozesse, in denen Kühlschmierstoffe eingesetzt werden, auf KSS-Öle, d. h. auf nicht wassermischbare Kühlschmierstoffe zurückgegriffen.

Ein gegenüber den wassermischbaren KSS deutlich höherer Beschaffungspreis ist ausschlaggebend für die bevorzugte Verwendung von Emulsionen und Lösungen. Bei ganzheitlicher Betrachtung relativiert sich der Kostennachteil jedoch häufig. KSS-Öle sind **weniger aufwendig bei der Pflege**, weisen oft **weniger gesundheitsbedenkliche Additive** auf und haben von Hause aus hervorragende Schmiereigenschaften. Nachteilig sind die **erforderlichen Brandschutzmaßnahmen**.

KSS-Öle werden bevorzugt bei folgenden Prozessen eingesetzt:

Tabelle: Bevorzugte Einsatzbereiche für nicht wassermischbare KSS

Bearbeitung von	Drehen, Bohren, Fräsen, Sägen	Gewindeschneiden Räumen	Schleifen	Honen
• Guss		+		+ +
• Stählen		+ +	+	+ +
• VA-Stählen	+	+ +		+ +
• NE-Metalle	+	+ +		+ +

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Vorteilhaft ist der bei KSS-Ölen generell geringere Pflegeaufwand gegenüber den wassergemischten KSS. Üblicherweise müssen nur Späne bzw. der Schleifschlamm ausgefiltert werden. Ein Badaustausch aufgrund von Verunreinigungen ist nur in seltenen Fällen erforderlich.

Zum Schutz der Umwelt und Ihrer Mitarbeiter sollten Sie insbesondere auf folgendes achten!

- Vermeiden Sie **umweltkritische Inhaltsstoffe** (siehe Metall > Einsatzstoffe > KSS > Auswahlkriterien)
- KSS sind in der Regel **umweltgefährdende Stoffe**. Beachten Sie daher die gesetzlichen Regelungen, insbesondere die Gefahrstoffverordnung und aus dem Bereich des Gewässerschutzes die Anforderungen der Anlagenverordnung wassergefährdender Stoffe (VAwS).
- Klären Sie die erforderlichen **Brand- und ggf. Exschutzmaßnahmen** mit dem KSS-Lieferanten und dem Maschinenhersteller ab.
- Stimmen Sie den KSS mit den **anderen Prozesshilfsstoffen** (z. B. Hydraulik- und Bettbahnöle, Reiniger) ab. Nutzen Sie dabei die Unterstützung Ihres Chemikalienlieferanten.
- **Hohe Austragsverluste** sind rausgeworfenes Geld. Reduzieren Sie die Abfallmengen durch geeignete Maßnahmen (siehe Metall > Einsatzstoffe > KSS > Öle > Abfallvermeidung)
- Informieren Sie Ihre Mitarbeiter über **Arbeitsschutzmaßnahmen**, insbesondere zum richtigen Hautschutz (siehe Metall > Einsatzstoffe > KSS > Öle >Arbeitsschutz) und über die Vermeidung unnötiger Expositionen, z. B. durch Abblasen des KSS mit Pressluft von Bauteilen.

- Prüfen Sie die **Möglichkeiten einer trockenen Bearbeitung** (siehe Metall > Produktionsverfahren > Trockenbearbeitung)

Hinweis:
KSS-Öle auf Esterbasis (aus pflanzlichen Rohstoffen oder synthetisch hergestellt) haben aus umweltorientierter Sicht Vorteile: Sie weisen in der Regel eine gute Hautverträglichkeit auf und sind biologisch besser abbaubar. Vor dem Einsatz muss aber unbedingt die Chemikalienverträglichkeit mit allen Maschinen- und Gerätekomponenten (insbesondere Kabeln, Schläuchen, Lackschichten) in Zusammenarbeit mit den Anlagenherstellern geprüft werden!

Richtiger Umgang mit nicht wassermischbaren Kühlschmierstoffen - KSS-Ölen

Nicht **wassermischbare Kühlschmierstoffe** sind **Gefahrstoffe** und beinhalten durch ihre Entflammbarkeit sowie ihre Inhaltsstoffe ein **Gefahrenpotenzial für die Mitarbeiter und die Umwelt**. Der richtige Umgang mit KSS ist daher in mehrerer Hinsicht von Bedeutung.

Ziel ist die **Vermeidung von Gefährdungen** von Mitarbeitern und der Umwelt sowie ein möglichst geringes Abfallaufkommen.

Für den richtigen Umgang mit KSS-Ölen sollten Sie die folgenden Punkte berücksichtigen:

	Wesentliche Aspekte
Abfallvermeidung	• Vermeidung von Austrägen und Verschleppungen • Abstimmung mit anderen Prozesschemikalien

Arbeitsschutz	• Vermeidung von Haut- und Atemwegsbelastungen
	  o Berücksichtigung rechtlicher Vorgaben
	  o Verwendung humanverträglicher KSS
	  o Information/Schulung der Mitarbeiter
	• Brand- und Explosionsschutz
	  o Berücksichtigung rechtlicher Vorgaben
	  o Information/Schulung der Mitarbeiter

Umweltschutz	• Vermeidung von Spritz- und Leckageverlusten • Vermeidung von Boden- und Wassergefährdungen • Sichere Lagerung und Handling • Umweltgerechte Entsorgung

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Um den sachgerechten Umgang mit KSS-Ölen sicher zu stellen ist es besonders wichtig, dass die betroffenen Mitarbeiter gut informiert sind mit welchen Medien sie arbeiten und was sie zum eigenen Schutz und zum Schutz der Umwelt tun können und sollten. Ein wichtiger Schritt hierzu ist die Erstellung und Bekanntmachung einer **Betriebsanweisung**. Eine Vorlage für eine **Betriebsanweisung „Umgang mit nicht wassermischbaren Kühlschmierstoffen (KSS) bei mechanischer Bearbeitung“** ist über die BGHM Berufsgenossenschaft Holz und Metall als Word-Datei verfügbar, so dass sie einfach an die betrieblichen Begebenheiten angepasst werden kann.

Graphik: Muster einer Betriebsanweisung zum Umgang mit nicht wassermischbaren KSS

Firma: **Betriebsanweisung** Nr.:

gem. GefStoffV § 14 und TRGS 555

ANWENDUNGSBEREICH

Arbeitsbereich:
Arbeitsplatz:
Tätigkeit:

GEFAHRSTOFFBEZEICHNUNG

nichtwassermischbarer Kühlschmierstoff (KSS)
Handelsname:

GEFAHREN FÜR MENSCH UND UMWELT

- „R 65" (in Textform, je nach Kennzeichnung des Produktes).
- Bildung explosionsfähiger/brennbarer Aerosol-Dampf-Luftgemische möglich.
- Hautkontakt beeinträchtigt die Schutzfunktion der Haut; langfristige Einwirkung kann zu Hauterkrankungen führen.
- Schon geringfügige Hautverletzungen, z.B. durch Späne oder Abrieb, erhöhen das Risiko einer KSS-bedingten Hauterkrankung.
- Das Abblasen KSS-benetzter Haut und Kleidung mit Druckluft kann Hautschäden verursachen.
- Das Einatmen von KSS-Dampf und -Aerosolen kann zu Schleimhaut- und/oder Atemwegsreizungen führen.
- Verschütteter oder ausgelaufener KSS kann Erdreich und Gewässer verunreinigen.

SCHUTZMAßNAHMEN UND VERHALTENSREGELN

- Hautkontakt auf ein Minimum beschränken, dazu gehören:
  - Haut nie mit KSS reinigen.
  - Hände nur mit sauberen Textil- oder Papiertüchern abtrocknen (keine Putzlappen verwenden).
  - gebrauchte Textil- oder Papiertücher nicht in die Kleidung stecken.
  - Werkstücke, Maschinen und Haut nicht mit Druckluft abblasen.
  - Schutzeinrichtungen verwenden.
  - KSS-durchtränkte Kleidung sofort wechseln.
- Am Arbeitsplatz nicht essen, trinken oder rauchen, keine Lebensmittel aufbewahren.
- Vor Arbeitsbeginn, vor Pausen und nach Arbeitsende Schutzmaßnahmen nach Hautschutzplan durchführen.
- Keine Abfälle, z.B. Lebensmittel, Taschentücher, in den KSS-Kreislauf gelangen lassen.

VERHALTEN BEI STÖRUNGEN UND IM GEFAHRFALL

Notruf:_____

- Bei Störungen, z.B. Ausfall der Absaugung, oder auffälligen Veränderungen des KSS (z.B. Aussehen, Geruch) den Aufsichtführenden informieren.
- Verschüttete oder ausgelaufene KSS mit Bindemittel Typ .... aufnehmen, dabei Schutzhandschuhe Typ .... tragen.
- Bei Auslaufen größerer KSS-Mengen Aufsichtführenden benachrichtigen.

VERHALTEN BEI UNFÄLLEN – ERSTE HILFE

Notruf:_____

- Bei Hautveränderungen z.B. raue Haut, Juckreiz, Brennen, Bläschen, Schuppen, Schrunden, den Aufsichtführenden und den Betriebsarzt informieren.
- Hautverletzungen fachgerecht versorgen lassen.
- Nach Augenkontakt sofort mit fließendem Wasser spülen, Arzt aufsuchen.
- Ersthelfer: .....

INSTANDHALTUNG, ENTSORGUNG

- Zu entsorgende KSS dürfen nur in gekennzeichneten Behältern gesammelt werden.
- Benutzte Einwegtücher in mit ..... gekennzeichneten Behältern sammeln.
- Wieder verwendbare Putztücher getrennt sammeln.
- Verwendete Bindemittel in mit ..... gekennzeichneten Behälter geben.

Datum: _____ Unterschrift: _____

Quelle: Berufsgenossenschaft Metall Nord-Süd; BGR/GUV-R 143

Ergänzend empfiehlt es sich einen Mitarbeiter als **„Kühlschmierstoff-Beauftragten“** mit den KSS-spezifischen Belangen zu betrauen. Dies beinhaltet die Aufgaben, bei der KSS-Auswahl (Näheres: Metall > Einstatzstoffe > KSS > Auswahl) mitzuwirken und dass bei ihm die wichtigen Informationen über die eingesetzten KSS vorliegen (**Sicherheitsdatenblätter**, Einsatzhinweise des Herstellers, zu beachtende rechtliche Regelungen, Informationen zum umweltgerechten Umgang usw.) sowie die Vermittlung insbesondere der Informationen zum richtigen Umgang mit KSS an die Mitarbeiter in der Produktion. Hierfür haben sich ca. **halbjährliche Unterweisungen** von max. einer halben Stunde bewährt.

Abfallvermeidung

Neben weiteren Maßnahmen zur Abfallvermeidung (Näheres: Metall > Einstatzstoffe > KSS > KSS-Öle > Vermeidung) schafft der richtige Umgang die wesentlichen Voraussetzungen für gute Einsatzbedingungen und damit gute Bearbeitungsergebnisse.

Bei der **Reduzierung der Austrags- und Verschleppungsverluste** sind ergänzend zu den prozesstechnischen Maßnahmen praktische Detaillösungen an der Maschine gefragt. Entsprechend sensibilisierte und geschulte Mitarbeiter werden geeignete Maßnahmen pragmatisch umsetzen und damit **Umweltrisiken und Kosten reduzieren.**

Beispiel: Durch schöpfende Teile können große Mengen an KSS ausgetragen werden. Eine abfallreduzierende Maßnahme ist ein Drehen oder Schwenken der Teile im Auslaufbereich mit entsprechenden Ablaufblechen zur Rückführung der ablaufenden KSS.

Wesentlich für lange Badstandzeiten und gute Bearbeitungsergebnisse ist auch die **Vermeidung von Vermischungen mit anderen Chemikalien**. Der KSS sollte daher mit dem Hydrauliköl und dem Bettbahnöl abgestimmt sein. Unverträglichkeiten (z. B. Mineralöl mit pflanzlichen Ölen oder Ester) führen vorzeitig zum Leistungsverlust.

Arbeitsschutz

KSS-Öle sind Gefahrstoffe und brennbar. Die Einstufung des jeweiligen Produkts ist dem **Sicherheitsdatenblatt** zu entnehmen. Entsprechend der Produkteinstufung sind die Vorgaben der Technischen Regel für brennbare Flüssigkeiten (**TrbF**) zu beachten. Beim Betrieb der Bearbeitungsmaschinen ist neben dem **Brandschutz** auch ein eventuell erforderlicher **Explosionsschutz** zu berücksichtigen. Bei starken Verwirbelungen in der Werkzeugmaschine und der hohen thermischen Belastung an der Bearbeitungsstelle bilden sich KSS-Nebel und -Dämpfe, so dass im Arbeitraum explosionsfähige Gemische entstehen können. Neben der entsprechenden Maschinenausrüstung zum **Brand- und Explosionsschutz** muss den Mitarbeitern das Gefahrenpotenzial und die zu ergreifenden Sicherheitsmaßnahmen bekannt sein. So sollte z. B. der Maschinenarbeitsraum geschlossen sein und die Absaugeinrichtung bei Arbeitsbeginn eingeschaltet werden. Die Arbeit mit KSS-Ölen beinhaltet **Belastungen der Haut und der Atemwegsorgane**. Bei Berücksichtigung der Regeln zum richtigen Umgang können die damit verbundenen Risiken jedoch deutlich eingeschränkt werden.

Wichtig ist Dauerbelastungen zu vermeiden und mit geeignetem Hautschutz vorzubeugen! So sollten z. B. ölige Putzlappen keineswegs in die Tasche gesteckt und verölte Arbeitskleidung umgehend gewechselt werden.

Hautkontakte mit KSS lassen sich arbeitstechnisch kaum ganz vermeiden, sollten aber so weit wie möglich minimiert werden. Auf schädigende KSS-Komponenten sollte nach Möglichkeit verzichtet werden (Näheres: Metall > Einstatzstoffe > KSS > Auswahl). Längerer Hautkontakt mit KSS-Ölen führt zu Entfettung und Erweichung der Haut. Geeigneter Hautschutz (Hinweise zu Hautschutzplänen finden Sie hier (Näheres: Metall > Einstatzstoffe > KSS > > KSS-Öle > Arbeitsschutz) ist eine wirksame aber bei den meist männlichen Mitarbeitern unbeliebte Prävention. Besonders wichtig sind daher gerade in diesem Bereich einprägsame Schulungen und Informationen der Mitarbeiter! Hier bieten die Regeln und Informationsschriften der Berufsgenossenschaften (z. B. BGR 143 und BGI 658) gute Informationen und Hilfen.

KSS-Öle auf Ester und pflanzlicher Basis haben bezüglich der Humanverträglichkeit deutliche Vorteile gegenüber Mineralölprodukten.

Umweltschutz

KSS-Öle sind in der Regel wassergefährdende Stoffe. Selbst wenn das Neuprodukt in der **Wassergefährdungsklasse** (WGK) 1 eingestuft ist, so reichern sich durch den Bearbeitungsprozess zusätzliche umweltgefährdende Substanzen im KSS an (z. B. andere Öle, gelöste Metalle, Crackprodukte usw.). **Gebrauchte Kühlschmierstoffe werden daher generell in die WGK 3 eingestuft**. Sowohl im Umgang, als auch bei der Lagerung sind zum Schutz von Boden und Gewässern die entsprechenden Sicherungsvorgaben der **VAwS** zu beachten. **Spritz- und Leckageverluste** sind möglichst zu vermeiden (z. B. durch Spritzschutzwände, Bodenwannen) und andernfalls durch geeignete Aufsaugmassen (z. B. Ölbindemittel, Sägespäne) aufzunehmen, was aber wiederum ein zusätzliches Abfallaufkommen bedeutet. Egal in welcher Form und in welcher Menge, KSS-Öle dürfen generell nicht über die Kanalisation entsorgt werden. Sie sind als **Sonderabfall** zu entsorgen, können aber in der Regel stofflich, zumindest aber energetisch verwertet werden. **Chlorhaltige Additive sollten auch in KSS-Ölen nicht mehr enthalten sein.** Sie können nach dem heutigen Stand der Technik durch umweltfreundlichere Stoffe ersetzt werden. Andernfalls sind sie unter AS 12 01 06* gesondert zu erfassen und zu entsorgen. Weitere Hinweise zur Entsorgung finden Sie hier (Näheres: Metall > Einstatzstoffe > KSS > KSS-Öle > Entsorgung).

Tipp: Die KSS-Hersteller verfügen über einen großen Erfahrungsschatz zum richtigen Umgang mit Kühlschmierstoffen. Nutzen Sie deren Erfahrungen und lassen Sie sich unterstützen und beraten.

Zu guter Letzt: Der Einsatz von KSS-Ölen beinhaltet Umweltrisiken und bedeutet einen nicht zu vernachlässigenden Aufwand. Durch Trockenbearbeitung lässt sich dieser Aufwand reduzieren. Es lohnt sich daher zu prüfen, ob die Trockenbearbeitung nicht auch bei Ihren Bearbeitungsprozessen realisierbar wäre. Weiter Informationen finden Sie hier (Näheres: Metall > Produktionsverfahren > Spanend > Trockenbearbeitung).

Maßnahmen zur Abfallvermeidung beim Einsatz von nicht wassermischbaren Kühlschmierstoffen - KSS-Öle

Im Gegensatz zu **wassergemischten Kühlschmierstoffen** weisen **nicht wassermischbare Kühlschmierstoffe** lange Standzeiten auf. Bedingt durch die Austragsverluste über Werkstücke, Späne und Schleifschlämme (Näheres: Metall > Produktionsverfahren > Spanend > Schleifen) ist ein Austausch wegen Unbrauchbarkeit nur selten erforderlich (oft „Lebensdauerfüllung“). Die meisten Abfallmengen resultieren aus Instandhaltungsarbeiten und sind durch Verschleppungen über Späne und Werkstücke verursacht. Die Austragsverluste können dabei ein Mehrfaches des Badvolumens pro Monat erreichen. **Da KSS-Öle deutlich teurer sind als wassergemischte KSS, sind die Ölverluste durch Verschleppung ein Kostenfaktor, der durch geeignete Maßnahmen deutlich reduziert werden kann.**

Bei den meisten Betrieben dürften erfahrungsgemäß kurzfristig die größten Potenziale bei Maßnahmen zur Reduzierung bzw. Rückführung der Austragsverluste und langfristig bei der Einführung der Trockenbearbeitung gegeben sein.

Maßnahmen zur Abfallvermeidung beinhalten daher nicht nur eine Schonung der Umwelt, sondern auch finanzielle Vorteile. Die Entsorgungskosten sind dabei nur ein kleiner Anteil der mit dem KSS-Einsatz verbundenen Kosten (Näheres: Metall > Produktionsverfahren > Spanend > Nassbearbeitung > Kosten).

Bei Überlegungen zur Abfallreduzierung sind **Maßnahmen zur Abfallvermeidung** vorrangig vor einer Verwertung vor einer umweltgerechten Beseitigung zu prüfen. Dies ist nicht nur eine gesetzliche Vorgabe (**KrWG**), sondern trägt auch zur Existenzsicherung für den Betrieb und die Gesellschaft bei. Produktionsintegrierte, abfallarme Technologien bieten gegenüber nachgeschalteten (additiven) Techniken im allgemeinen auch wirtschaftliche Vorteile. Dies gilt insbesondere dann, wenn nicht nur der reine Abfallaspekt (Entsorgungskosten) sondern alle Faktoren (z. B. Beschaffung, Energie, Arbeitsschutz, Logistik) betrachtet werden.

Die nachfolgend beschriebenen Maßnahmen zur Abfallvermeidung beziehen sich, wegen der unterschiedlichen Schwerpunkte, nur auf nicht wassermischbare KSS, d. h. KSS-Öle. Maßnahmen zur Abfallvermeidung beim Einsatz wassergemischter KSS (KSS-Emulsionen und KSS-Lösungen) finden Sie hier (Näheres: Metall > Einsatzstoffe > KSS > Emulsionen > Vermeidung).

So sollten Sie vorgehen

Die wichtigsten Ansatzpunkte zur Abfallvermeidung bei nicht wassergemischten KSS
1. Erfassen des Ist-Zustands im Betrieb 2. Verzicht auf den KSS-Einsatz, d. h. Prüfung der Umstellmöglichkeit auf Trockenbearbeitung/Minimalmengen-Schmierung 3. Reduzierung der Einsatzmengen und der Austragsverluste 4. Entfernung eingetragener Feststoffe

Im Folgenden wird auf die einzelnen Ansatzpunkte näher eingegangen.

Trockenbearbeitung

Früher fast ausschließlich bei der Graugussbearbeitung angewandt, haben die **Trockenbearbeitung** sowie die Minimalmengen-Schmierung (**MMS**) in den letzten 15 Jahren einen großen Entwicklungsschub erfahren und stehen jetzt an der Schwelle zur breiten Umsetzung. **Vorteil der Trockenbearbeitung** ist, dass neben der **Vermeidung KSS-bedingter Abfälle** (verbrauchte Kühlschmierstoffe, Putzlappen, Ölbindemittel usw.) teilweise ganze **Prozessschritte eingespart** werden können (z. B. Reinigung der Werkstücke), der Reinigungsaufwand für die Maschine und der Umgebung reduziert und Bearbeitungszeiten verkürzt werden. Somit ergänzen sich bei dieser Technik **Effektivitätssteigerung und Verbesserung der betrieblichen Umweltsituation**. Wegen der Bedeutung des Themas als **Technologie zur Steigerung der Ökoeffizienz bei der Metallbearbeitung** sind die Vorteile, die Einsatzbereiche und die Vorgehensweise zur betrieblichen Einführung der Trockenbearbeitung auf separaten Seiten (siehe Metall > Produktionsverfahren > Spanend > Trockenbearbeitung) beschrieben. Neben der Trockenbearbeitung sollten auch weitere **abfallarme Formgebungsverfahren**, wie z. B. Strangpressen, Pulvermetallurgie oder Feinguss als Alternativen zur spanenden Formgebung die in die Überlegungen mit einbezogen werden. Sie kommen jedoch meist nur bei großen Stückzahlen in Betracht.

Reduzierung der Einsatzmengen und der Austragsverluste

Reduzierung der Austragsverluste: Die oft **wesentlichste und effektivste indirekte Abfallvermeidungsmaßnahme ist bei KSS-Ölen die Reduzierung der Verschleppungen über Werkstücke, Späne, ggf. Schleifschlämme**. Die ausgetragenen KSS-Mengen sind bei KSS-Ölen erheblich höher (bedingt durch die höhere Viskosität) als bei wassergemischten KSS und können ein Mehrfaches des Badinhalts pro Monat ausmachen. Diese gehen einerseits dem Arbeitsprozess verloren (Nachfüllbedarf, Kostenfaktor) und gelangen andererseits entweder in nachfolgende Prozesse (z. B. Waschbäder, reduziert deren Standzeit und bedeutet zusätzliche Abfallmenge) oder in die Entsorgung, oft zusammen mit Spänen oder Schlämmen. Durch

- Abtropfzonen (Werkstücke, Späne)
- Schleudern (Kleinteile, Späne) sowie
- Auspressen oder Zentrifugieren (Späne, Schleifschlämme)

lassen sich erhebliche Anteile der ausgetragenen KSS abtrennen. Diese können, ggf. über einen Feinfilter, umgehend in den **KSS-Kreislauf zurückgeführt** werden. Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Abtrennung und Rückführung der KSS aus Schleifschlämmen finden Sie auf der Seite Metall > Produktionsverfahren > spanende Bearbeitung > Schleifen > Abfallvermeidung.

Mengenminimierung beim KSS-Einsatz: Mit dem Grundsatz „**so wenig wie möglich, so viel wie nötig**“ lassen sich oft durch systematische Überprüfung des wirklich erforderlichen Bedarfs die KSS-Einsatzmengen deutlich reduzieren.

Vereinheitlichung und Reduzierung der eingesetzten KSS-Sorten: Moderne KSS weisen heute ein breites Anwendungsspektrum auf, so dass die Anzahl der eingesetzten KSS auf ein Minimum reduziert werden kann. Als Richtlinie kann man sagen, dass in den meisten Betrieben 1–2 wassermischbare und 1–2 nicht wassermischbare KSS ausreichen. Wenige KSS-Sorten vereinfachen die betriebliche Materialwirtschaft und Logistik und ermöglichen unter Umständen eine zentrale KSS-Versorgung, was den Aufwand für Überwachung und Pflege reduziert und somit nicht nur KSS-Mengen sondern vor allem auch Kosten einspart.

Optimierung der Badstandzeiten

Im Gegensatz zu wassergemischten KSS sind nicht wassermischbare KSS wesentlich pflegeleichter. Hier genügt üblicherweise das Ausfiltrieren fester Verunreinigungen sowie eine halbjährliche Kontrolle auf Gehalt an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (**PAK**). Die üblichen Standzeiten liegen hier bei 5 bis 10 Jahren.

Tabelle: Empfohlene Messungen bei KSS-Ölen

Parameter	- üblicher Bereich - Grenzwert	Meßsysteme z. B.	Messungen pro Woche	Maßnahmen
Benzo(a)pyren-konzentration	- 1-2 mg/kg - 3 mg/kg (Empfehlung)	Analyse	½-jährlich	Leitsubstanz f. PAK-Gehalt KSS-Austausch bei Grenzwertüberschreitung

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Auch wenn KSS-Öle weniger empfindlich sind sollte vorrangig dafür gesorgt werden, dass Verunreinigungen möglichst nicht ins KSS-Bad gelangen. So kann z. B. die Vermischung mit anderen Ölen oder verschiedenen Ölqualitäten die Gebrauchseigenschaften des KSS negativ verändern, so dass die Bearbeitungsqualität nicht mehr gesichert ist und ein vorzeitiger Austausch erforderlich wird. **Kritisch sind insbesondere Vermischungen von Ölen mit unterschiedlicher Basis z. B. Ester, pflanzliche Öle in Mineralöle und umgekehrt**. Hydraulik-, Bettbahnöle sollten daher immer mit dem KSS abgestimmt sein. Besprechen Sie dies mit Ihrem KSS-Lieferanten.

Einträge von feinen Spänen sowie Schleifmittelabrieb lassen sich jedoch kaum vermeiden. Insbesondere beim Schleifen müssen Schleifschlämme möglichst kontinuierlich aus dem Bad entfernt werden.

Bild: Magnetwalze zur Abtrennung von Schleifschlämmen

Foto: ABAG-itm, Pforzheim

Die **Auswahl des geeigneten Filtrationsverfahrens** ist angesichts der Vielfalt der am Markt angebotenen Systeme schwierig und sollte sich in erster Linie nach den betrieblichen Anforderungen richten.

Zur Auswahl eines geeigneten Reinigungssystems helfen Ihnen folgende Kriterien

• Betriebliche Anforderungen
  o Art des eingesetzten KSS-Typs (Mineralöl, Ester) und der Viskosität
  o Art der primär eingetragenen Verunreinigungen
  o Geforderter Reinigungsgrad des Bearbeitungsprozesses (z. B. beim Schleifen)
  o Anlagengröße bzw. Umfang des Maschinenparks
• Prioritäten (anwendungsspezifisch)
  o Entfernung von Feststoffen

Tabelle: Übersicht und Einsatzkriterien zu Verfahren zur Feststoffabtrennung aus KSS-Ölen

Verfahren	Wirkungs-grad	Invest-Bedarf	Wartungs-aufwand	Umwelt-eigenschaften
Magnetabscheider	mittel (nur magnet. Anteile)	mittel	gering	sehr gut
Umlaufbandfilter	mittel – (hoch)	mittel - (hoch)	gering	sehr gut
Rückspülbare Trommel-, Sieb- oder Spaltfilter	mittel – (hoch)	mittel - (hoch)	mittel	sehr gut
Sedimentationsbehälter mit Austragsvorrichtung	mäßig	gering	gering	hohe Austragsverluste
Anschwemmfilter	hoch	hoch	hoch	hohes

				Abfallaufkommen
Hydrozyklone	hoch	gering	hoch (Verschleiß)	sehr hohe Austragsverluste
Separator (zwei Phasen)	sehr hoch	hoch	hoch	hoher Energiebedarf
Papierbandfilter	mittel	gering	gering	hohes Abfallaufkommen

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Entsorgung von nicht wassermischbaren Kühlschmierstoffen - KSS-Öle

Im Gegensatz zu wassergemischten Kühlschmierstoffen weisen nicht wassermischbare KSS sehr lange Standzeiten auf. Bedingt durch die Austragsverluste über Werkstücke, Späne und Schleifschlämme (siehe auch Metall > Produktionsverfahren > spanende Bearbeitung > Schleifen > Abfallvemeidung) ist ein Austausch wegen Unbrauchbarkeit nur selten erforderlich (oft „Lebensdauerfüllung"). Die meisten Abfallmengen resultieren aus Instandhaltungsarbeiten als Abtropfverluste von Spänen, Werkstücken usw. **Zu entsorgende Kühlschmierstoffe sind generell als gefährlicher Abfall (Sonderabfall) eingestuft**. Dabei müssen die verschiedenen Abfallarten (z. B. chlorhaltige KSS) getrennt gesammelt werden, was auch deren Verwertungsmöglichkeiten verbessert.

Abfallschlüssel	..und Abfallbezeichnung nach AVV
12 01 06*	halogenhaltige Bearbeitungsöle auf Mineralölbasis (außer Emulsionen und Lösungen)
12 01 07*	halogenfreie Bearbeitungsöle auf Mineralölbasis (außer Emulsionen und Lösungen)
12 01 10*	synthetische Bearbeitungsöle
12 01 19*	biologisch leicht abbaubare Bearbeitungsöle

Nicht wassermischbare KSS können in der Regel einer stofflichen oder energetischen Verwertung zugeführt werden.

Foto: Zweitölraffinerie in Eislingen, Baden-Württemberg

Quelle: Fa. Südöl Mineralöl-Raffinerie, Eislingen

Die Kenntnis der verfügbaren **Verwertungsmöglichkeiten** mit deren Einsatzbedingungen ist für den Abfallerzeuger ein wichtiges Kriterium, um über die richtige innerbetriebliche Sammlung bis zur Bereitstellung der verschiedenen Abfallarten deren optimale Verwertbarkeit zu ermöglichen. Hiermit verbunden sind in der Regel auch **finanzielle Vorteile,** d. h. geringere Entsorgungskosten.

Die Altölverordnung (AltölV) beinhaltet Vorgaben zur Sammlung und Entsorgung von Altölen. Altöle mit verschiedenen Abfallschlüsseln gemäß AVV wurden hierzu vier Sammelkategorien zugeordnet.

Halogenfreie Bearbeitungsöle (12 01 07*) sowie synthetische Bearbeitungsöle (12 01 10*) sind der Sammelkategorie 2 zugeordnet. Biologisch leicht abbaubare Bearbeitungsöle der Sammelkategorie 4. Altöle verschiedener Sammelkategorien dürfen nicht miteinander vermischt werden, ebenso wenig mit anderen Abfallarten. Für die aufgeführten Altöle wird der Aufbereitung (d. h. Raffination zu Basisölen) Vorrang vor sonstigen Entsorgungsverfahren gegeben, vorbehaltlich entgegenstehender technischer oder wirtschaftlicher Sachzwänge.

Altöle der Sammelkategorie 1 sind generell zur Aufbereitung geeignet.

Chlorhaltige KSS können heute generell durch umweltgerechtere KSS ersetzt werden! Sie sind beim Entsorgen besonders problematisch (Gefahr der Dioxinbildung) und müssen daher getrennt gesammelt und in geeigneten Anlagen (Sonderabfallverbrennung, höhere Kosten) beseitigt werden. Als Schadstoffgrenzwerte für die Aufbereitung ist in der Altölverordnung (gilt für alle Altölkategorien) ein PCB-Gehalt von 20 mg/kg oder mehr als 2 g/kg Gesamthalogen angegeben.

Nachfolgend dargestellt sind die Verwertungsmöglichkeiten verschiedener Abfallarten mit den, teilweise verfahrensspezifischen Randbedingungen.

Halogenfreie KSS-Altöle auf Mineralölbasis; Abfallschlüssel 12 01 07* oder auf synthetischer Basis; Abfallschlüssel 12 01 10*

Sofern halogenfrei fallen sie in die Sammelkategorie 2 und sind daher bevorzugt zu Basisölen mittels Raffinationsverfahren aufzuarbeiten.

In Deutschland sind vier Zweitölraffinerien, die Altöle aufarbeiten am Markt, davon eine in Baden-Württemberg:

• Horst Fuhse Mineralölraffinerie, 22113 Hamburg
• Mineralölraffinerie Dollbergen, 31311 Uetze-Dollbergen
• Südöl Mineralöl-Raffinerie, 73054 Eislingen
• Baufeld-Öl, 09221 Klaffenbach

Neben den o. a. Schadstoffgrenzwerten sind höhere Wassergehalte (> 10 %), höhere Gehalte an Feststoffen, verschiedenen Additive sowie Öle auf Ester oder pflanzlicher Basis schädlich für eine wirtschaftliche Raffination und werden daher in der Regel mit Entsorgungszuschlägen belastet.

KSS-Altöle auf pflanzlicher Basis (Abfallschlüssel 12 01 19*)

Esteröle und pflanzliche Öle weisen von den Mineralölen abweichende Molekülstrukturen auf und sind daher nicht immer für die bestehenden Aufarbeitungsverfahren geeignet (verfahrensabhängig),**d. h. sie dürfen nicht mit Mineralölen vermischt werden**. Aufarbeitungsverfahren für Öle auf pflanzlicher oder Esterbasis sind zwar entwickelt, stehen heute aber noch nicht kommerziell zur Verfügung.

Als Alternative bieten einige KSS-Hersteller an, die KSS zurückzunehmen und aufzuarbeiten. **Rücknahmemöglichkeiten durch den Hersteller** sollten daher in jedem Fall erfragt werden.

Aufgrund des hohen Heizwerts sind alle Altöle, d. h. auch Ölgemische verschiedener Ölsorten und Additivierungen, für eine **energetische Verwertung** geeignet. Hierzu steht eine breite Palette von Feuerungs- und Verbrennungsanlagen zur Verfügung wie z. B. Zementwerke sowie für die Altölverbrennung zugelassene Heiz- oder Energiegewinnungsanlagen.

Zu Verwertungsmöglichkeiten und bei Entsorgungsfragen sollten Sie sich auch von Ihrem Entsorger oder von unabhängigen Beratungseinrichtungen beraten lassen.

Aspekte des Arbeitsschutzes beim Umgang mit nicht wassermischbaren Kühlschmierstoffen - KSS-Öle

Beim Umgang mit **nicht wassermischbaren KSS** spielen die folgenden Aspekte eine besondere Rolle:

- **Brand- und Explosionsschutz**,
- der **Hautschutz** sowie
- die **Gefährdung von Atemwegsorganen** durch KSS-Nebel und Dämpfe

Bei der Lagerung und Versorgung der Werkzeugmaschinen mit KSS-Ölen sind zum B**randschutz** die Vorgaben der Technischen Regeln für brennbare Flüssigkeiten (**TrbF**) zu beachten. Dies betrifft insbesondere KSS-Öle mit niedrigem Flammpunkt. **Die TrbF gelten nach wie vor weiter**, obwohl die Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (VbF) nach in Kraft treten der **Betriebssicherheits-verordnung** (BetrSichV) zurückgezogen worden ist. Beim Betrieb der Werkzeugmaschinen ist neben dem Brandschutz auch der **Explosionsschutz** besonders zu berücksichtigen. Durch die starken Verwirbelungen im Maschinenraum und der hohen thermischen Belastung an der Bearbeitungsstelle bilden sich KSS-Nebel und -Dämpfe, so dass explosionsfähige Gemische entstehen können. Maschinenseitig müssen daher bei der Verwendung von KSS-Ölen Einrichtungen zum Brand- und Explosionsschutz vorhanden sein. Bei neuen Maschinen muss der Bearbeitungsraum gekapselt sein. **Diesbezüglich vorteilhaft sind nebelarme KSS-Öle mit hohem Flammpunkt**.

KSS-Öle haben eine entfettende und reizende Wirkung auf die Haut, schädigen deren Säureschutzmantel und können bei längerer Einwirkzeit die Bildung von Ölakne verursachen. **Hautkontakte** mit KSS können jedoch arbeitstechnisch kaum vermieden werden, so dass bedeutsam ist, hautschädigende KSS-Komponenten zu vermeiden, Hautschutzpläne zu erstellen und die Mitarbeiter über den richtigen Umgang und über Schutzmaßnahmen zu informieren. Hier bieten die Regeln und Informationsschriften der die BGMET Berufsgenossenschaft Metall Nord-Süd.

- BGI 658 Hautschutz in Metallbetrieben
- BGR 143 Umgang mit Kühlschmierstoffen

wichtige Hilfen. Ebenso sollten die KSS-Hersteller bei Fragen zum Arbeitsschutz mit herangezogen werden. Durch KSS-haltige Aerosole können die **Atemwegsorgane** geschädigt werden. Für die Metallbearbeitung gilt ein MAK-Wert **für KSS am Arbeitsplatz von 10 mg/m³ Luft** (Summenwert von Dampf und Aerosolen). Ergänzend dazu sind KSS-Emissionen in Arbeitsbereiche nach Möglichkeit wirksam einzuschränken. Die Kapselung und Maschinenraumabsaugung bildet hierbei die wesentliche Prävention, aber auch das sachgerechte Verhalten der Mitarbeiter spielt eine entscheidende Rolle.

Nachfolgende Tabelle fasst wichtige Maßnahmen zum Schutz der Mitarbeiter zusammen

Technische Maßnahmen
• Kapselung der Werkzeugmaschinen (Pflicht bei Neuanlagen) • Maschinenraumabsaugung mit Ableitung ins Freie und/oder Abluftreinigung • Spritzschutzbleche bei offenen Maschinen
Organisatorische Maßnahmen
• Erstellung von arbeitsplatzbezogenen Betriebsanweisungen • Unterweisung/Schulung der Mitarbeiter im richtigen Umgang mit KSS • Aufstellung eines Hautschutzplans (vgl. BGI 658)

• Aufstellung eines Wartungsplans zur Überwachung und Pflege der KSS • Festlegung von Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten zum Einsatz von KSS, am besten über die Bestellung eines KSS-Beauftragten
Persönliche Schutzmaßnahmen
• Bei unvermeidbarem KSS-Kontakt nach Möglichkeit Schutzhandschuhe tragen • Bei Spritzgefahr (z. B. Nachfüllen, Umfüllen, fehlender Maschinenabdeckung) sollte ölbeständige Schutzkleidung getragen werden. • Hände nicht mit Putzlappen säubern, die Metallspäne enthalten können • Nicht mit öligen Händen Nasen-, Mundschleimhaut oder Augen berühren • Verölte Putzlappen nicht in die Tasche stecken • Verölte Arbeitskleidung wechseln • Hautschutzmittel vor der Arbeit und Hautpflegemittel nach der Arbeit gemäß Hautschutzplan verwenden • KSS-behaftete Teile nicht mit Pressluft abblasen (hohe Aerosolerzeugung) • Ess- und Rauchverbot in Arbeitsräumen beachten

Um insbesondere die persönlichen Arbeitsschutzmaßnahmen im Umgang mit KSS-Ölen sicher zu stellen, ist es besonders wichtig, dass die betroffenen Mitarbeiter gut informiert sind mit welchen Medien sie arbeiten und was sie zum eigenen Schutz tun können und sollten. Ein wichtiger Schritt hierzu ist die Erstellung und Bekanntmachung einer **Betriebsanweisung**. Eine Vorlage für eine **Betriebsanweisung „Umgang mit nicht wassermischbaren Kühlschmierstoffen (KSS) bei mechanischer Bearbeitung“** ist über die BGHM Berufsgenossenschaft Holz und Metall als Word-Datei verfügbar, so dass sie einfach an die betrieblichen Begebenheiten angepasst werden kann.

Hautschutzmaßnahmen sind gerade bei männlichen Mitarbeitern unbeliebt. Hier bietet die BGI 658 der BGMS eine gute Vorlage zur Aufstellung eines Hautschutzplans. Informationsschriften, Vorlagen und Schulungsunterlagen stehen auch über Hautschutzmittel-Hersteller und KSS-Hersteller zur Verfügung.

Eine anwendungsorientierte Zusammenfassung zu **Stoffverboten und Einsatzbeschränkungen** bei Kühlschmierstoffen finden Sie auf der Internet-Seite des VKIS. Bei KSS-Ölen auf Mineralölbasis sollten Sie auf aromatenarme Qualitäten achten. Die Gruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (**PAK**) ist als krebserzeugend eingestuft.

Schmier-, Getriebe- und Hydrauliköle in metallverarbeitenden Betrieben

Im metallverarbeitenden Gewerbe wird eine große Palette verschiedener Öle zur Schmierung von Maschinen und Maschinenelementen sowie Hydrauliköl für hydraulisch betriebene Einrichtungen eingesetzt. Diese sind in der überwiegenden Mehrheit auf Mineralölbasis, teilweise aber inzwischen auch auf synthetischer (z. B. Ester) und nativer (pflanzlicher) Basis, hergestellt.

Grafik: Schmierstoffverbrauch in Deutschland (Gesamt 1.109.383 t in 2008)

Quelle: Bundesamt für Wirtschaft, 2008

Für viele Beschäftige in Produktions- und Instandhaltungsbereichen von metallverarbeitenden Betrieben lässt sich der Kontakt mit Schmierstoffen kaum ganz vermeiden. Das betrifft vorwiegend den direkten Hautkontakt der mit Revisions- und Instandhaltungsarbeiten befassten Mitarbeiter.

Schmierstoffe und Hydrauliköle können die Gesundheit der Beschäftigten gefährden (Hauterkrankungen) und bedingen bei Lagerung, Einsatz und Entsorgung verschiedene Umweltgefahren (Wassergefährdung, Brandgefahr).

Das Gefahrenpotenzial hängt sowohl von der Art des verwendeten Schmierstoffs als auch von seinen Inhaltsstoffen ab (Grundöle, Additive). **Viele Öle und die meisten der verwendeten Additive sind als Gefahrstoffe eingestuft. Die Grundlage für einen umweltgerechten Einsatz der im Betrieb verwendeten Öle wird daher bereits bei der Auswahl und dem Einkauf getroffen.**

Zum Schutz der Umwelt und Ihrer Mitarbeiter sollten Sie insbesondere auf folgende Punkte achten:

- Vermeiden Sie umweltkritische Inhaltsstoffe (siehe auch Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > KSS > Auswahlkriterien)
- Schmierstoffe und Hydrauliköle sind in der Regel umweltgefährdende Stoffe. Beachten Sie daher die gesetzlichen Regelungen, insbesondere die Gefahrstoffverordnung und aus dem Bereich des Gewässerschutzes die Anforderungen der Anlagenverordnung wassergefährdender Stoffe (**VAwS**).
- Klären Sie die erforderlichen Brand- und Exschutzmaßnahmen mit dem Öl-Lieferanten sowie ggf. mit der Gewerbeaufsicht und der örtlichen Feuerwehr ab.
- Stimmen Sie den KSS mit den anderen Prozesshilfsstoffen (z. B. Hydraulik- und Bettbahnöle, Reiniger) ab. Holen Sie sich dazu die Unterstützung Ihres Chemikalienlieferanten.
- Informieren Sie Ihre Mitarbeiter über Arbeitsschutzmaßnahmen, insbesondere zum richtigen Hautschutz (siehe auch Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Maschinenöle > Arbeitsschutz).

Öle auf Esterbasis (aus pflanzlichen Rohstoffen oder synthetisch hergestellt) haben aus umweltorientierter Sicht Vorteile: Sie weisen in der Regel eine bessere Hautverträglichkeit auf und sind biologisch besser abbaubar. Vor dem Einsatz muss aber unbedingt die Chemikalien-verträglichkeit mit allen Maschinen- und Gerätekomponenten (insbesondere Schläuchen) in Zusammenarbeit mit den Anlagenherstellern geprüft werden!

Auswahlkriterien für Maschinen- und Hydrauliköle

Das Anforderungsprofil für Maschinen-, Getriebe- und Hydrauliköle beinhaltet in erster Linie technische Kriterien wie erforderliche Schmiereigenschaften, Viskosität bei dem abzudeckenden Temperaturbereich.

Neben den technologischen Anforderungen sollten bei der Auswahl der Schmierstoffe und Hydrauliköle die Anforderungen des Arbeits- und Umweltschutzes gleichrangig berücksichtigt werden, um Gesundheits- und Umweltrisiken zu vermeiden oder zumindest einzuschränken!

Die Palette der am Markt verfügbaren Schmierstoffe ist insbesondere für kleine und mittelständische Betriebe kaum überschaubar. Eine allgemein gültige Aussage, welches die "ungefährlichsten" und gleichzeitig technisch geeignetsten Schmierstoffe sind, lässt sich nicht machen.

Bei Beachtung folgender Grundsätze lassen sich Umweltrisiken jedoch erheblich einschränken:

- **Einbeziehung aller Beteiligten:** Ziehen Sie bei der Öl-Auswahl möglichst alle betriebsinternen und externen Beteiligten mit ein, z.B. Einkauf, Produktion, Umweltbeauftragte, Öl-Hersteller, Maschinenhersteller, Verwerter und Entsorger. Nutzen Sie unabhängige Informations- und Beratungsmöglichkeiten.
- **Vermeidung von Umweltrisiken:** Achten Sie auf möglichst umweltgerechte und humanverträgliche Inhaltsstoffe. Stellen Sie sicher, dass keine verbotenen oder mit unbekannten Umweltrisiken behafteten Komponenten in den Ölen enthalten sind. Auch Stoffe mit Verwendungsbeschränkungen sollten nach Möglichkeit nicht in den Ölen enthalten sein. Hilfen hierzu bieten die Stoffliste des Verbraucherkreis industrieller Schmierstoffanwender VKIS, Informationen der Berufsgenossenschaften sowie das für Sie zuständige Regierungspräsidium. Die Informationsbasis hierzu bilden aussagefähige und aktuelle EU-Sicherheitsdatenblätter der verwendeten Öle.

  Praxistipp: Die Homepage des VKIS enthält ein Musterschreiben an Lieferanten, das Sie zur Gewährleistung einer möglichst geringen Gefährdung für Mitarbeiter und Umwelt unter Berücksichtigung gesetzlicher Regelungen und der VKIS-Stoffliste verwenden können.
- **Gewässerschutz:** In Abhängigkeit von den (**wassergefährdenden**) Inhaltsstoffen sind Schmier- und Hydrauliköle in Wassergefährdungsklassen (**WGK**) eingestuft. Generell ist eine niedrige WGK vorteilhaft. Sicherungsmaßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz beinhalten die Vorgaben der **VAwS**. Besonders (kosten)relevant ist dies bei großen Mengen und bei Anlagen in Wasserschutzgebieten. **Öle auf nativer Basis haben hier deutliche Vorteile.**
- **Reduzierung der Produktvielfalt:** Reduzieren Sie die Anzahl verschiedener Schmierstoffe und Hydrauliköle so weit wie möglich. Neben einer vereinfachten Logistik liegen Vorteile bei besseren Verwertungsmöglichkeiten und damit Vorteile vor allem im Kostenbereich.

Grafik: Vorteile durch reduzierte Produktvielfalt

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

- **Chemikalienabstimmung:** Sorgen Sie dafür, dass die eingesetzten Maschinen- und Hydrauliköle mit anderen in der Fertigungslinie eingesetzte Chemikalien, mit denen Vermischungen möglich und sind, abgestimmt sind. Dies betrifft in erster Linie **Hydraulik- und Bettbahnöle**, die über Leckagen und Auswaschungen in die Kühlschmierstoffe gelangen. Nehmen Sie hierzu Ihre Schmierstofflieferanten in die Pflicht.

Bei der Suche nach umweltschonenden Maschinen- und Hydraulikölen können **Umweltzeichen** wie der "Blaue Engel", das deutsche Umweltzeichen, oder die "EU-Blume", das Europäische Umweltzeichen, eine zusätzliche Hilfe bieten. Insbesondere bei Hydraulikölen besteht bereits ein breites Angebot an umweltschonenden Produkten.

Maßnahmen zum richtigen Umgang mit Maschinen- und Hydraulikölen

Maschinen- und Hydrauliköle werden in nahezu jedem metallverarbeitenden Betrieb eingesetzt. Maschinen-, Getriebe und Hydrauliköle sind in der Regel Gefahrstoffe und sind durch ihre Entzündbarkeit, ihr Wassergefährdungspotenzial sowie ihre Inhaltsstoffe **Gefahrenquellen für Mitarbeiter und Umwelt**. Der richtige Umgang mit diesen Ölen ist daher in mehrerlei Hinsicht von Bedeutung.

Ziel ist die Vermeidung von Gefährdungen von Mitarbeitern und der Umwelt sowie ein möglichst geringes Abfallaufkommen.

Zum richtigen Umgang mit Maschinen- und Hydraulikölen sollten Sie folgende Punkte berücksichtigen:

	Wesentliche Aspekte
Abfallvermeidung	• Vermeidung von Vermischungen und Schmutzeinträgen • Abstimmung mit anderen Prozesschemikalien
Arbeitsschutz	• Vermeidung von Haut- und Atemwegsbelastungen o Berücksichtigung rechtlicher Vorgaben o Verwendung humanverträglicher Öle o Information/Schulung der Mitarbeiter

	• Brand- und Explosionsschutz
	  o Berücksichtigung rechtlicher Vorgaben
	  o Information/Schulung der Mitarbeiter

Umweltschutz	• Vermeidung von Leckageverlusten • Vermeidung von Bodenkontaminationen und Wassergefährdungen o Sichere Lagerung und Handling • Umweltgerechte Altöllagerung und Entsorgung

Um den sachgerechten Umgang mit Ölen sicher zu stellen ist es notwendig und wichtig, dass die betroffenen Mitarbeiter gut informiert sind mit welchen Medien sie arbeiten und was sie zum eigenen Schutz und zum Schutz der Umwelt tun können. Ein wichtiger Schritt hierzu ist die Erstellung und Bekanntmachung einer Betriebsanweisung. Eine Musteranweisung zum Umgang mit Hydrauliköl finden Sie beispielsweise auf den Seiten 43 und 44 der BGR 237 der Metallberufsgenossenschaft Nord Süd. Informationen über die im Betrieb eingesetzten Schmierstoffe und Öle sollten gesammelt beim betrieblichen **Gefahrstoffbeauftragten** vorliegen (insbesondere Sicherheitsdatenblätter, Einsatzhinweise der Hersteller, zu beachtende rechtliche Regelungen, Informationen zum umweltgerechten Umgang usw.). Er sollte auch die Vermittlung der Informationen zum richtigen Umgang mit Ölen an die Mitarbeiter in der Produktion übernehmen. Hierfür haben sich **halbjährliche Unterweisungen** von rund einer Viertelstunde bewährt.

Abfallvermeidung

Neben weiteren Maßnahmen zur Abfallvermeidung (siehe auch: Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Maschinenöle > Abfallvermeidung) schafft der richtige Umgang die wesentlichen Voraussetzungen für gute Einsatzbedingungen. Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch die **Vermeidung von Vermischungen mit anderen Chemikalien**. Hydrauliköle sollten daher mit dem verwendeten Kühlschmierstoff abgestimmt sein. Unverträglichkeiten (z. B. Leckagen eines Hydrauliköls auf Mineralölbasis in einen Kühlschmierstoff auf Ester-Basis) machen einen vorzeitigen Austausch des KSS nötig und erhöhen damit Kosten und Abfallaufkommen.

Arbeitsschutz

Maschinen- und Hydrauliköle sind in der Regel Gefahrstoffe und brennbar. Die Einstufung des jeweiligen Produkts ist dem Sicherheitsdatenblatt zu entnehmen. Die Arbeit mit Ölen beinhaltet **Belastungen der Haut und bei Entwicklung von Dämpfen auch der Atemwegsorgane**. Bei Berücksichtigung der Regeln zum richtigen Umgang können die Risiken jedoch deutlich eingeschränkt werden.

Wichtig ist es, Dauerbelastungen zu vermeiden und mit geeignetem Hautschutz vorzubeugen! So sollten z. B. beim Nach- und Umfüllen von Ölen ölfeste Handschuhe getragen werden, ölige Putzlappen keineswegs in die Tasche gesteckt und verölte Arbeitskleidung umgehend gewechselt werden.

Hautkontakte mit Ölen lassen sich insbesondere bei Reparatur- und Wartungsarbeiten arbeitstechnisch kaum ganz vermeiden, sollten aber möglichst minimiert werden. Auf hautschädigende Inhaltsstoffe sollte daher nach Möglichkeit verzichtet werden (siehe auch Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Maschinenöle > Auswahl). Längerer Hautkontakt mit Ölen führt zur Entfettung und Erweichung der Haut. Geeigneter Hautschutz (Hinweise zu **Hautschutzplänen** finden Sie unter Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Maschinenöle > Arbeitsschutz) ist eine wirksame, aber bei den meist männlichen Mitarbeitern unbeliebte Prävention. Besonders wichtig sind daher gerade in diesem Bereich einprägsame Schulungen und Informationen der Mitarbeiter! Hier bieten die Regeln und Informationsschriften der Berufsgenossenschaften (z.B. BGI 658) eine gute Hilfe.

Öle auf Ester- und pflanzlicher Basis haben bezüglich der Hautverträglichkeit deutliche Vorteile gegenüber Mineralölprodukten.

Umweltschutz

Maschinen- und Hydrauliköle sind in der Regel wassergefährdende Stoffe. Selbst wenn das Neuprodukt in der Wassergefährdungsklasse (WGK) 1 eingestuft ist, reichern sich im Laufe des Einsatzes zusätzliche umweltgefährdende Substanzen im Öl an (z.B. andere Öle, gelöste Metalle, Crackprodukte usw.). **Altöle werden daher generell in die WGK 3 eingestuft**. Sowohl im Umgang als auch bei der Lagerung sind zum Schutz von Boden und Gewässern die entsprechenden Sicherungsvorgaben der VAwS zu beachten.

Leckagen sind möglichst zu vermeiden und andernfalls durch geeignete Aufsaugmassen (z. B. Ölbindemittel, Sägespäne) aufzunehmen, was aber wiederum ein zusätzliches Abfallaufkommen bedeutet. Kontaminationen von Böden und Abwasserpfaden müssen durch entsprechende Schutzmaßnahmen verhindert werden. Ölfässer und andere Gebinde sind daher generell so zu lagern, dass ihr Inhalt bei Leckagen aufgefangen wird (z. B. durch Auffangwannen oder Bodenwannen). Genaue Anforderungen für z. B. Umfüll- und Lagerbereiche werden durch die VAwS festgelegt.

Egal in welcher Form und in welcher Menge dürfen **Altöle** generell nicht über die Kanalisation entsorgt werden. Sie sind als gefährlicher Abfall (Sonderabfall) zu entsorgen, können aber in der Regel stofflich, zumindest aber energetisch verwertet werden. Weitere Hinweise zur Entsorgung finden Sie unter Metall > Einsatzstoffe > Maschinenöle > Entsorgung.

Maßnahmen zur Abfallvermeidung bei Maschinen-, Getriebe- und Hydraulikölen

Maschinen-, Getriebe- und Hydrauliköle haben in der Regel Wechselintervalle im Bereich von mehreren Jahren. Bei guter Pflege und unter Berücksichtigung einiger Grundregeln können die **Austauschintervalle erheblich verlängert** werden. Zusätzlich zu den Altöl-Abfällen, die aus Instandhaltungsarbeiten resultieren, sind mit dem Einsatz von Maschinen- und Hydraulikölen oft noch **weitere ölhaltige Abfälle** verbunden, wie z. B. Ölbindemittel, die in die Betrachtungen zur Abfallvermeidung mit einbezogen werden sollten.

Maßnahmen zur Abfallvermeidung beinhalten nicht nur eine Schonung der Umwelt, sondern auch finanzielle Vorteile. Die Entsorgungskosten sind dabei nur ein kleiner Anteil der Gesamtkosten. Mit in eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einbezogen werden sollten auch die indirekt aus dem Einsatz von Maschinen- und Hydraulikölen entstehenden Umweltkosten wie Reinigungskosten, Bindung und Entsorgung von Leckagen usw.

Diese Punkte sollten Sie berücksichtigen:

- Abstimmung der Maschinen- und Hydrauliköle mit anderen Betriebsflüssigkeiten oder Hilfsstoffen (z. B. Kühlschmierstoffen), mit denen es zu Vermischungen kommen kann.
- Vermeidung von Leckagen
- Reduzierung der Sortenvielfalt
- Verlängerung der Wechselintervalle

Abstimmung der Prozess- und Hilfsstoffe (Chemikalienverträglichkeit)

Durch Unverträglichkeiten verschiedener Ölsorten (z. B. Mineralöle und Ester oder Hydrauliköle auf pflanzlicher Basis) können die Standzeiten der Prozessbäder erheblich beeinträchtigt werden. So sind z. B. Hydrauliksysteme in Werkzeugmaschinen in der Praxis nie zu 100 % dicht (was zwar technisch, aber nicht wirtschaftlich realisierbar wäre). Leckagen gelangen somit als Fremdöle in das KSS-Bad und beeinflussen die Standzeit. Bei Werkzeugmaschinen, die mit Kühlschmierstoffen betrieben werden, sollten daher Hydraulik- und Bettbahnöle immer mit dem KSS abgestimmt sein. Besprechen Sie dies mit Ihrem KSS- oder Öllieferanten.

Vermeidung von Leckagen

Leckagen bedeuten nicht nur Ölverluste, sondern bedingen auch ein zusätzliches Abfallaufkommen (z. B. Ölbindemittel, Reinigungsmedien, verölte Putzlappen) sowie ein zusätzliches Umweltrisiko (Kontamination von Böden, Abwasser) und ein Arbeitssicherheitsrisiko (rutschige Böden). Leckende Systeme sollten daher umgehend instand gesetzt und mögliche Leckagen durch Auffangwannen sicher eingefasst werden.

Reduzierung der Sortenvielfalt

Moderne Schmierstoffe und Hydrauliköle weisen heute ein so breites Anwendungsspektrum auf, dass die Anzahl der eingesetzten Öle oft deutlich reduziert werden kann. **Mit einer Vereinheitlichung und Reduzierung der eingesetzten Schmierstoffsorten lassen sich Vorteile nicht nur im Bereich des Abfallaufkommens, sondern insbesondere auch im Bereich der Lagerung und Versorgungslogistik erzielen.** Wenige Ölsorten vereinfachen die betriebliche Materialwirtschaft und Logistik und ermöglichen eine zentrale Ölversorgung, was den Aufwand für Überwachung und Pflege reduziert und somit **Kosten einspart**. Ergänzend sinkt das Risiko der Verwechselungsgefahr.

Optimierung der Wechselintervalle

Maschinen- und Hydrauliköle bedürfen in der Regel keiner aufwändigen Überwachung und Pflege. **Vorrangig sollte jedoch dafür gesorgt werden, dass möglichst wenig Verunreinigungen in das System gelangen.** So kann z.B. das Eindringen von Kühlwasser in ein Hydrauliksystem dieses schnell unbrauchbar machen (Korrosionserscheinungen, Bildung von Dampfblasen). Auch die Vermischung mit anderen Ölen oder von verschiedenen Ölqualitäten kann die Gebrauchseigenschaften eines Öls negativ verändern, sodass es vorzeitig ausgetauscht werden muss. **Kritisch sind insbesondere Vermischungen von Ölen mit unterschiedlicher Basis z. B. Ester, pflanzliche Öle in Mineralöle und umgekehrt.**

Der **Eintrag von Abrieb** (feinen Spänen) lässt sich jedoch kaum vermeiden. Zur Verlängerung der Wechselintervalle sollte daher ein wirksames Filtersystem installiert sein, das die Partikel möglichst kontinuierlich aus dem Öl entfernt.

Die **Auswahl eines geeigneten Filtrationsverfahrens** sollte sich in erster Linie nach den betrieblichen Anforderungen richten. Weiterhin sollte ein abfallarmes System gewählt werden, das entweder ohne Verbrauchsmaterial auskommt (z. B. rückspülbare Systeme) oder bei dem nur der eigentliche Filtereinsatz (und nicht das ganze Gehäuse) gewechselt werden muss.

Kriterien zur Auswahl eines geeigneten Reinigungssystems:

- Betriebliche Anforderungen
    - Viskosität und Art des eingesetzten Öls (Mineralöl, Ester)
    - Geforderter Reinigungsgrad im Prozess
    - Anlagengröße bzw. Umfang des Maschinenparks
- Wartungsfreundlichkeit
- Wirtschaftlichkeit
- Abfallrelevanz des Systems

Bewährt hat sich auch die Feststoffabtrennung mittels Drei-Phasen-Separator. Da diese Geräte in der Anschaffung teuer sind, lohnt sich ihr Einsatz erst bei großen Systemen bzw. einem entsprechend großen Maschinenpark. Teilweise wird die Reinigung von Maschinen- und Hydraulikölen von Schmierstofflieferanten auch als Serviceleistung angeboten.

Entsorgung von Maschinen- und Hydrauliköl en

In der Regel weisen sowohl **Schmier- als auch Hydrauliköle** lange Nutzungszeiten im Bereich von mehreren Jahren auf. Bei guter Pflege (siehe auch unter Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Maschinenöle > Abfallvermeidung) können die Austauschintervalle noch verlängert werden. Die meisten Altöle resultieren daher aus routinemäßigen Ölwechseln und Instandhaltungsarbeiten.

Bei manchen Prozessen (z. B. zur Temperierung von Prozessbädern) werden auch **Wärmeübertragungsöle** (Thermoöle) eingesetzt, die im Einzelfall bei Instandhaltungsarbeiten als Abfall anfallen.

Altöle aus Maschinen- oder Hydrauliköl en können in der Regel einer stofflichen, mindestens jedoch einer energetischen Verwertung zugeführt werden. Hierzu sind einige Randbedingungen zu beachten, die auch zur Reduzierung der Entsorgungskosten beitragen.

Zu entsorgende Maschinen- und Hydrauliköl e sind generell als gefährliche Abfälle (Sonderabfälle) eingestuft. Dabei müssen die verschiedenen Abfallarten (z. B. Öle auf Mineralölbasis und Öle auf pflanzlicher Basis) getrennt gesammelt werden. Dies verbessert auch ihre Verwertungsmöglichkeiten. PCB- **oder chlorhaltige Öle** werden in metallverarbeitenden Brachen nicht mehr verwendet. Falls aus Altbeständen noch halogenhaltige Ölabfälle anfallen, müssen sie **unbedingt getrennt gesammelt und entsorgt** werden.

Die Altölverordnung (AltölV) beinhaltet Vorgaben zur Sammlung und Entsorgung von Altölen. Altöle mit verschiedenen Abfallschlüsseln gemäß Abfallverzeichnis Verordnung AVV wurden hierzu vier Sammelkategorien zugeordnet.

In nachfolgender Übersicht sind für diesen Bereich die wichtigsten Abfallschlüssel gemäß Abfallverzeichnis Verordnung (AVV) sowie deren Zuordnung in die Sammelkategorie der AltölV zusammengefasst.

Zuordnung zu Abfallschlüsseln gemäß AVV:	**Sammelkategorie gemäß AltölV**
Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	
13 02 04* chlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis	3
13 02 05* nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis	1
13 02 06* synthetische Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	1
13 02 07* biologisch leicht abbaubare Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	4
13 02 08* andere Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	1
Hydrauliköle	
13 01 01* Hydrauliköle, die PCB enthalten	3
13 01 09* chlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis	3
13 01 10* nichtchlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis	1
13 01 11* synthetische Hydrauliköle	2

13 01 12* biologisch leicht abbaubare Hydrauliköle	4
13 01 13* andere Hydrauliköle	2
Isolier- und Wärmeübertragungsöle	
13 03 01* Isolier- und Wärmeübertragungsöle, die PCB enthalten	3
13 03 06* chlorierte Isolier- und Wärmeübertragungsöle auf Mineralölbasis mit Ausnahme derjenigen, die unter 13 03 01 fallen	3
13 03 07* nichtchlorierte Isolier- und Wärmeübertragungsöle auf Mineralölbasis	1
13 03 08* synthetische Isolier- und Wärmeübertragungsöle	4
13 03 09* biologisch leicht abbaubare Isolier- und Wärmeübertragungsöle	4
13 03 10* andere Isolier- und Wärmeübertragungsöle	4

Altöle der Sammelkategorie 1 sind generell zur Aufbereitung geeignet.

Praxistipp:
"Gute" Altöle werden bei dem derzeit hohen Ölpreisniveau meist kostenlos abgeholt, je nach Menge und Marktlage auch gegen Vergütung. Voraussetzung sind geringe Wasser- und Schlammgehalte. Auf jeden Fall sollten daher reine Altöle getrennt von Öl-Wassergemischen (z. B. KSS-Emulsionen oder Kompressorkondensaten) und Ölen mit hohen Schlammgehalten (z. B. Ölschlämmen aus der Maschinenreinigung) gesammelt und zur Verwertung abgegeben werden.

Nachfolgend sind einige Verwertungsmöglichkeiten verschiedener Altölgruppen mit den, teilweise verfahrensspezifischen Randbedingungen zusammengefasst.

Halogenfreie Altöle auf Mineralölbasis, z.B. Abfallschlüssel 13 02 05*, 13 01 10* oder auf synthetischer Basis, Abfallschlüssel 13 02 06*, 13 01 11*

Diese fallen in die Sammelkategorien 1 oder 2 und sind daher bevorzugt zu Basisölen mittels Raffinationsverfahren aufzuarbeiten.

In Deutschland sind derzeit vier Zweitölraffinerien, die in erster Linie Altöle aufarbeiten am Markt, davon eine in Baden-Württemberg:

- Horst Fuhse Mineralölraffinerie, 22113 Hamburg
- Mineralölraffinerie Dollbergen, 31311 Uetze-Dollbergen
- Südöl Mineralöl-Raffinerie, 73054 Eislingen
- Baufeld-Öl, 09221 Klaffenbach

Neben Schadstoffgrenzwerten sind höhere Wassergehalte (> 10%), höhere Gehalte an Feststoffen, verschiedenen Additive sowie Öle auf Ester oder pflanzlicher Basis nachteilig für eine wirtschaftliche Raffination und werden daher in der Regel mit Entsorgungszuschlägen belastet.

Hydrauliköle auf pflanzlicher Basis (Abfallschlüssel 13 01 12*)

Esteröle und pflanzliche Öle weisen von den Mineralölen abweichende Molekülstrukturen auf und sind daher nicht immer für die bestehenden Aufarbeitungsverfahren geeignet (verfahrensabhängig), **d. h. sie dürfen nicht mit Mineralölen vermischt werden**. Aufarbeitungsverfahren für Öle auf pflanzlicher oder Esterbasis sind zwar entwickelt, stehen heute aber noch nicht kommerziell zur Verfügung.

Als Alternative bieten einige Öl-Hersteller an, verbrauchte Öle zurückzunehmen und aufzuarbeiten. **Rücknahmemöglichkeiten durch den Hersteller** sollten daher in jedem Fall erfragt werden.

Aufgrund des hohen Heizwerts sind alle Altöle, d. h. auch Ölgemische verschiedener Ölsorten und Additivierungen, **für eine energetische Verwertung geeignet**. Hierzu steht eine breite Palette von Feuerungs- und Verbrennungsanlagen zur Verfügung, z. B. Zementwerke sowie für die Altölverbrennung zugelassene Heiz- oder Energiegewinnungsanlagen.

Zu Verwertungsmöglichkeiten und bei Entsorgungsfragen sollten Sie sich auch von Ihrem Entsorger oder von unabhängigen Beratungseinrichtungen beraten lassen.

Maßnahmen zum Arbeitsschutz beim Einsatz von Maschinen- und Hydraulikölen

Beim Umgang mit **Maschinen-, Getriebe- und Hydraulikölen** spielen Brand- und Hautschutzaspekte eine besondere Rolle.

Bei der Lagerung und Versorgung der Maschinen mit Schmier- und Hydraulikölen sind zum Brandschutz die Vorgaben der technischen Regeln für brennbare Flüssigkeiten (**TRbF**) zu beachten. Dies betrifft insbesondere Öle mit niedrigem Flammpunkt.

Öle, insbesondere Mineralöle, haben eine entfettende und reizende Wirkung auf die Haut, schädigen deren Säureschutzmantel und können bei längerer Einwirkzeit die Bildung von Ölakne verursachen. **Hautkontakte mit Maschinen- und Hydraulikölen sollten daher nach Möglichkeit vermieden werden**. Ergänzend sind Hautschutzpläne zu erstellen und die Mitarbeiter über den richtigen Umgang und über Schutzmaßnahmen zu informieren. Hier bieten die Regeln und Informationsschriften der BGMET Berufsgenossenschaft Metall Nord-Süd

- BGI 658 Hautschutz in Metallbetrieben
- BGR 137 Umgang mit Hydraulikflüssigkeiten

wichtige Hilfen. Ebenso sollten die Öl-Hersteller bei Fragen zum Arbeitsschutz mit herangezogen werden.

Nachfolgende Tabelle fasst wichtige Maßnahmen zum Schutz der Mitarbeiter zusammen

Organisatorische Maßnahmen
• Unterweisung/Schulung der Mitarbeiter im richtigen Umgang mit Ölen • Aufstellung eines Hautschutzplans (vgl. BGI 658)
Persönliche Schutzmaßnahmen
• Bei unvermeidbarem Kontakt mit Ölen und Schmierstoffen nach Möglichkeit Schutzhandschuhe tragen • Bei Spritzgefahr (z. B. beim Nachfüllen, Umfüllen) sollte ölbeständige Schutzkleidung getragen werden • Hände nicht mit Putzlappen säubern, die Metallspäne enthalten können • Nicht mit öligen Händen Nasen-, Mundschleimhaut oder Augen berühren • Verölte Putzlappen nicht in die Tasche stecken • Verölte Arbeitskleidung wechseln • Hautschutzmittel vor der Arbeit und Hautpflegemittel nach der Arbeit gemäß Hautschutzplan verwenden

Um insbesondere die persönlichen Arbeitsschutzmaßnahmen im Umgang mit Ölen sicher zu stellen, ist es wichtig, dass die betroffenen Mitarbeiter gut informiert sind mit welchen Medien sie arbeiten und was sie zum eigenen Schutz tun können. Ein wichtiger Schritt hierzu ist die Erstellung und Bekanntmachung einer Betriebsanweisung. Vorlagen für **Betriebsanweisungen** sind über die BGMET Berufsgenossenschaft Metall Nord-Süd als Word-Datei verfügbar. Ein **Beispiel für den Umgang mit Hydrauliköl**en ist im Anhang 5 der BGR 137 aufgeführt.

Hautschutzmaßnahmen sind gerade bei männlichen Mitarbeitern unbeliebt. Hier bietet die schon erwähnte BGI 658 eine gute Vorlage zur Aufstellung eines Hautschutzplans. Informationsschriften, Vorlagen und Schulungsunterlagen stehen auch über Hautschutzmittel- und Öl-Lieferanten zur Verfügung.

Reinigungs- und Entfettungsmittel

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Werkstücke sind durch vorausgehende Fertigungsschritte häufig mit Verunreinigungen, Fetten und Ölen behaftet. Oft werden Teile zum temporären Korrosionsschutz mit einem Sprühölfilm überzogen. Insbesondere bei Prozessen zur Oberflächenbehandlung (z. B. Galvanisieren, Lackieren oder dem Aufbringen anderer Beschichtungen) müssen die Werkstücke daher in der Vorbehandlung gereinigt werden. Dies geschieht über Reinigungs- und Entfettungsprozesse.

Grundsätzlich werden hierzu folgende drei Systeme mit verschiedenen Einsatzstoffen eingesetzt:

- **Wässrige Reinigungssysteme**
- **Nicht halogenierte Lösemittel**
- **Halogenierte Lösemittel**

Ein sparsamer Einsatz dieser Reinigungsmittel hilft **Kosten zu sparen und schont zugleich die Umwelt**. Unabhängig vom eingesetzten Reinigungsmedium gelten hierfür folgende Ansatzpunkte:

- Minimierung des **Schmutzeintrags** über das Werkstück
- Regelmäßige Pflege und **Kontrolle der Reinigungsbäder**
- Vermeidung unnötiger **Ausschleppungen** aus den Bädern
- Einsatz Wasser sparender Spültechniken (**Kaskadenspültechnik**)
- **Entfernung eingetragener Feststoffe** aus den Bädern
- Prozessinterne **Wiederaufbereitung** der Reinigungsmedien

Bei **organischen Lösemitteln** sind aus Gründen des Arbeits- und Umweltschutzes in den meisten Fällen Maßnahmen zum Schutz vor Emissionen erforderlich (Absaugung, Abluftreinigung, gekapselte Ausführung).

Wässrige Reinigungs- und Entfettungsmittel

Quelle: www.ABAG-itm.de

Zum Entfetten und reinigen metallischer Werkstücke werden heute überwiegend wässrige Reiniger (neutral, sauer, alkalisch) eingesetzt. Zur Verbesserung der Reinigungswirkung werden alkalische Bäder oft bei 70 – 90 °C betrieben (Heißentfettung).

Die Reinigungschemikalien enthalten in der Regel Neutralsalze (Builder, reinigende Substanzen) und biologisch abbaubare Tensidkombinationen (emulgierende Komponente). Dadurch können sie sich mit emulgierten Ölen und Fetten sowie mit suspendierten Fremdstoffen anreichern.

Die in erster Linie eingesetzten alkalischen Reiniger enthalten Natriumhydroxid, Phosphate, Silikate, Carbonate sowie Tenside/Emulgatoren bei emulgierenden Systemen. Manche Bäder enthalten neben Polyphosphaten auch andere Komplexbildner, wie Gluconat und Nitrilotriacetat. Um unerwünschte Ätzungen der Werkstückoberfläche zu vermeiden sollte ihre Basizität auf pH 9 bis 11 beschränkt werden.

Bei der Auswahl eines Reinigers sind neben den technologischen Anforderungen auch die Aspekte des Umwelt- und Arbeitsschutzes zu beachten.

Lassen Sie sich von Ihrem Lieferanten ein aktuelles **Sicherheitsdatenblatt** zuschicken. Als Hilfestellung für KMUs kann zur Vermeidung umweltschädlicher Inhaltsstoffe auf die Stoffliste des VKIS zurückgegriffen werden.

Reinigersysteme für verschiedene Anwendungsbereiche sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt.

pH-Bereich	Wichtige Inhaltsstoffe	Temperatur-bereich	Verwendung	Verfahren
Stark alkalisch pH 12 - 14	Alkalihydroxid Carbonate/Silikate Phosphate Komplexbildner Tenside	> 60 °C	Stahl Buntmetalle (Zink) (Aluminium)	Tauchen Spritzen Ultraschall Elektrolyse
Schwach alkalisch pH 8 - 12	Phosphate/Borate Carbonate Komplexbildner Tenside	> 40 °C	Zink Aluminium Buntmetalle	Spritzen Ultraschall Tauchen
Neutral pH 7	Tenside Korrosions-inhibitoren	20 - 80 °C	Alle Metalle Kunststoffe Lacke	Spritzen Ultraschall Tauchen
Schwach sauer pH 3 - 6	Organische Säuren Tenside Saure Salze	20 - 60 °C	Stahl Buntmetalle Glas/Keramik	Spritzen Tauchen Phosphatieren
Stark sauer pH 1 -3	Säure, Tenside Inhibitoren	20 - 60 °C	Aluminium Stahl Buntmetalle	Ultraschall Tauchen Beizentfetten

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Demulgierende Reiniger

Der Einsatz von nicht emulgierenden (demulgierenden) wässrigen Reinigern hat den Vorteil, dass vom Reinigungsgut abgelöste Öle aufschwimmen und aus dem Bad abgetrennt werden können. Damit wird die Badstandzeit verlängert und die Ausschleppung von emulgierten Fetten und Ölen in die nachfolgenden Spülbäder wird weitgehend vermieden. Die verbrauchte Reinigerlösung enthält wenig Öl und kann in der Abwasserbehandlungsanlage einfacher behandelt werden. Nachteil demulgierender Systeme ist ihre geringere Aufnahmekraft für Verschmutzungen.

Grafik: Ölabtrennung durch Skimmer

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Emulgierende Reiniger

Ist aus technischen Gründen der Einsatz von stark emulgierend arbeitenden Entfettungssystemen erforderlich, muss damit gerechnet werden, dass eine **Regeneration der Reinigungslösungen sehr aufwendig** wird.

Die Technik der **Membranfiltration**, hier speziell die Mikro-/Ultrafiltration, kann zur Regeneration von ölbeladenen wässrigen Entfettungslösungen eingesetzt werden. Dabei wird angestrebt, die Porengröße der Membranen so zu dimensionieren, dass nur das emulgierte Öl zurückgehalten wird, die waschaktiven Bestandteile des Reinigungsbads jedoch die Membran passieren und im System verbleiben.

Die Mikrofiltration muss hierzu spezifisch auf das Gesamtsystem (Reinigungsmittel und Verschmutzungen) angepasst werden. In der Regel sind Vorversuche erforderlich, um einen stabilen und effektiven Aufarbeitungsprozess zu gewährleisten.

Vermeidung von Abfällen aus wässrigen Reinigungsbädern

Verminderung des Eintrags von Fetten und Ölen in das Reinigungsbad

Öl- und Fettrückstände auf den Werkstücken werden meist durch vorgelagerte Prozesse in der spanenden oder spanlosen Bearbeitung hervorgerufen. Minimierungsansätze liegen daher in diesen Fertigungsbereichen.

Die eingesetzten Bearbeitungsfette- und Öle müssen sich mit handelsüblichen Reinigern entfernen lassen. Die Auswahl der Fette und Öle sollte deshalb unter Berücksichtigung der nachfolgenden Oberflächenbehandlung erfolgen.

Möglichkeiten zur Reduzierung der Verschmutzungen

- Einrichtung von Abtropfzonen und/oder Zentrifugieren der Werkstücke
- automatisches Applizieren des Fett-/ Schmierfilms
- Einsatz von **Trockenbearbeitung** oder Minimalmengen-Schmierung (MMS)**Minimalmengen-Schmierung (MMS**
- Einsatz von leichtflüchtigen Schmiermitteln
- Mechanische Entfernung von grobem Schmutz (Bürsten, Abspachteln)
- Vorreinigung der Werkstücke durch Teilereinigungssysteme oder Reinigungsanlagen außerhalb der oberflächentechnischen Anlagen
- Verkürzung der Zwischenlagerzeit, dadurch werden Staubablagerungen vermindert

Vorreinigung der Teile

- Starke Ölanhaftungen und anhaftende Späne können vor der Reinigung mechanisch, z. B. durch Rütteln, Schleudern oder Abblasen entfernt werden.

Tabelle: Verfahren zur Vorentölung stark ölbehafteter Teile

Vorentölungsverfahren	Einsatzbereiche
Abtropfen lassen des Öls in speziellen Abtropfgestellen	Kippen schöpfender Teile, in denen Öl steht; Einsatz niederviskoser Bearbeitungshilfsstoffe
Abstreifen des Öls mit Abstreiflippen	ebene Teile mit glatter Oberfläche
Abschleudern des Öls in einer Zentrifuge (Schleuderverfahren)	unempfindliche Kleinteile, Korb- oder Schüttware
Abblasen der Teile mit Luft bei gleichzeitiger Absaugung und Abscheidung des Ölnebels (Saugblasverfahren)	nur für vereinzelte Teile in (größerer Stückzahl) geeignet

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

- Bei stark mit Ölen oder Fetten verschmutzten Teilen empfiehlt sich eine heiße Vorreinigung in demulgierenden Reinigern.

Reduzierung von Ausschleppungen aus Reinigungsbädern

Konstruktive Maßnahmen

- Vermeidung schöpfender Teile
- Sacklöcher sollten soweit möglich durch Durchgangsbohrungen ersetzt werden
- Gestelle für den Warentransport müssen verschleppungsarm konstruiert sein, sodass die Prozess- und Spülflüssigkeiten gut abtropfen können (z. B. durch schräg stehende Rohre, die auslaufen können)
- Die Waren sollten versetzt aufgehängt werden, damit ablaufende Flüssigkeiten nicht auf andere Teile tropfen
- Mindestabtropfzeiten sollten experimentell ermittelt und in Arbeitsanweisungen festgeschrieben werden
- Das Abtropfen kann durch mechanische Maßnahmen, wie Rütteln, Abblasen oder Abstreifen (bei ebenen Teilen) unterstützt werden

Weitere Informationen finden Sie im Bereich Metall > Galvanik > Einsatzstoffe > Ausschleppung.

Einsatz Wasser sparender Spültechniken (Kaskaden-Spültechnik)

Die Mehrfachnutzung von Spülwasser wird technisch durch eine mehrstufige Kaskadenspültechnik realisiert. Das Frischwasser wird dabei in der letzten Spülstufe zugegeben und im Gegenstrom - entgegen dem Teiledurchsatz - stufenweise aufkonzentriert. Der Kaskadenablauf wird zum Ausgleich der Verdunstungs- und Verschleppungsverluste teilweise in die Reinigungszone, zum anderen Teil (Überschusswasser) in die Abwasserbehandlung weitergeleitet.

Grafik: Schematische Darstellung einer Kaskadenspülung

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Die Kaskadenfahrweise ermöglicht

- eine beachtliche Frischwasser- und Abwasserverminderung (z. B. führt eine 3-fach Kaskade anstelle 1-stufiger Fahrweise zu **Wassereinsparungen von 50 - 90%**)
- eine Teilrückführung von verschlepptem Reiniger.

Der trotz Kaskadenführung in der Regel noch verbleibende Restabwasserstrom aus den Spülbädern kann prinzipiell durch zusätzliche Maßnahmen wie die Kreislaufführung über Verdampfer (Vakuumverdampfer mit Brüdenverdichtung) weiter reduziert werden.

Der Nutzen einer weiteren Abwasserverringerung auf Kosten eines erhöhten Energieaufwandes ist im Einzelfall zu prüfen.

Weitere Informationen finden Sie im Bereich Metall > Galvanik > Produktionsverfahren > Spültechnik.

Entfernung von Feststoffen und Badreinigung

Lange Standzeiten lassen sich nur dann erreichen, wenn die Schmutzbeladung des Reinigungsmediums auf niedrigem Niveau gehalten wird. Die eingetragenen Verschmutzungen lassen sich grob klassifizieren in

- Feststoffe (Späne, Korrosionsprodukte, Staub) und
- ölhaltige Stoffe (Kühlschmierstoffe, Öle, Fette, Emulsionen usw.)

Die Feststoffabtrennung kann in der Regel mit einfachen Verfahren, z. B. durch Sedimentation oder Filtration erfolgen. Bedeutend schwieriger und damit entscheidend für den Erfolg standzeitverlängernder Maßnahmen ist die **Entfernung der ölhaltigen Stoffe.** Für deren Abtrennung aus wässrigen Reinigungsmedien steht eine Reihe unterschiedlicher Aufbereitungsverfahren zur Verfügung, die sich in Funktion, Aufwand und Effizienz unterscheiden. Am einfachsten ist die Abtrennung der Ölphase bei demulgierenden Reinigern.

Tabelle: Verfahren zur Abtrennung von Ölen aus wässrigen Reinigern

Verfahren	Funktionsprinzip der Reiniger-Öl-Trennung	geeignet zur Abtrennung	Ölabscheidegrad	Inves-tition	Betriebkosten
Skimmer	Trennung durch Adhäsionskräfte	aufrahmender Öle	niedrig	gering	gering
Schwerkraftabscheider	Trennung durch Schwerkraft	freier Öle; Grobpartikel	mittel	mittel	gering bis mittel
(Zentrifugal-) Separator	Trennung durch Zentrifugalkraft	freier bis schwach emulgierter Öle; Fein-/Grobpartikel	hoch	hoch	hoch
Mikro-/ Ultrafiltration	Emulsionstrennung bei Überströmen einer porösen Membran	emulgierter Öle (freie Öle vorab entfernen); Feinstpartikel	hoch (Tensidverlust z.T. beträchtlich)	hoch	mittel bis hoch

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Wesentlichen Einfluss auf die anzuwendenden Trennverfahren hat die Form, in der die Öle/Fette in der Waschlösung vorliegen (emulgiert/nicht emulgiert). Dabei ist zu beachten, dass die Abtrennung emulgierter Öle und Fette mit einfachen Verfahren wie Skimmer oder Schwerkraftabscheider nicht erreicht werden kann, sondern den Einsatz aufwändigerer Trennmethoden wie Ultra- oder **Mikrofiltration** erfordert.

Aus Sicht einer einfachen Badpflege empfiehlt sich deshalb der Einsatz nicht emulgierender Reiniger.

Tabelle: Orientierende Angaben zur Abscheideeffizienz und Standzeitverlängerung verschiedener Pflegeverfahren

Verfahren	Ölkonzentration der gereinigten Wasserphase in mg/l		Verlängerung der Standzeit
	demulgierendes System	emulgierendes System	
Skimmer	keine Angaben		
Schwerkraftabscheider	1.000 - 3.000	2.500 - 10.000	2- bis 4-fach
(Zentrifugal-) Separator	100 - 1.500	2.000 - 5.000	bis zum 16-fachen
Mikrofiltration	10 - 500		ca. 12-fach
Ultrafiltration	1 - 50		
Elektrokoagulation	> 50		
Verdampfer	< 10		

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Badpflege und -überwachung

Wichtig: Mindestvoraussetzung einer jeden Badpflege ist die regelmäßige Kontrolle und Nachdosierung der durch Verschleppung und Ölabtrennung aus dem System ausgetragenen Reinigerkomponenten.

Reiniger bestehen in der Regel aus zwei Komponenten, den Buildern (Reinigungssubstanzen) und den Tensiden (emulgierende Komponenten). Die Tenside werden durch Verschleppung in stärkerem Maß ausgetragen, d. h. die Buildersubstanzen (meist Neutralsalze) reichern sich an. Insbesondere bei der Membranfiltration kommt es teilweise zu erheblicher Tensidrückhaltung, während die Builderkomponenten nahezu ungehindert passieren.

Zur Nachdosierung bieten sich hier sogenannte "Baukasten-Reiniger" an, bei denen Builder und Tensidgemisch - entsprechend ihrer unterschiedlichen Austragsraten - getrennt zugegeben werden können.

Entsorgung von Abfällen aus wässrigen Reinigung

Entstehende Rückstände und Abfälle

Beim Einsatz wässriger Reinigungssysteme fallen im Wesentlichen folgende Abfälle an:

- Verbrauchte Reinigungsbäder
- Verbrauchte Spülbäder
- Ölphase aus der Öl-Wasser-Trennung
- Ölhaltige Schlämme, Verdampferrückstände
- Feststoffe, wie z. B. Späne aus der Filtration der Reinigungsbäder
- Wasserphase aus der Öl-Wasser-Trennung

Interne Aufarbeitung und Verwertungsmöglichkeiten

Bei verbrauchten Reinigungs- und Spülbädern besteht die Möglichkeit der internen Aufarbeitung oder der Entsorgung als **gefährlicher Abfall (Sonderabfall)** über eine externe Chemisch Physikalische Behandlung, **CPB**-Anlage. Die Entscheidung hierüber ist primär eine Frage der Wirtschaftlichkeit, gegebenenfalls auch unter berücksichtigung anderer im Betrieb anfallender Abfälle wie z. B. Kühlschmierstoff-Emulsionen.

Bei einem Aufkommen von weniger als 100 m³/a ist eine interne Aufarbeitung in der Regel nicht wirtschaftlich.

Tabelle: Übersicht möglicher interner Verwertungsverfahren

Aufbereitungsverfahren	Anfallende Reststoffe	Verwertungsmöglichkeiten
Schwerkraftabscheider Skimmer	Wasserphase: Restölgehalt, Reiniger Schlamm: Feststoffe, Späne, Öl Ölphase: Öle, Fette, bis zu 50% Wasser, Reiniger	Rückführung ins Waschbad oder Abtrennung des emulgierten Öls durch Mikro-/Ultrafiltration Energetische Verwertung; Beseitigung **SAV**Externe Entsorgung als Altöl; soweit chlorfrei Verwertung mit Altölen (Zweitraffination)

(Zentrifugal-) Separator	Wasserphase: Restölgehalt, Reiniger Schlamm: Feststoffe, Späne, Öl Ölphase: Öle, Fette, 5 - 10% Wasser, Reiniger	Rückführung ins Waschbad Energetische Verwertung; Beseitigung SAV Externe Entsorgung als Altöl; soweit chlorfrei Verwertung mit Altölen (Zweitraffination)
Mikrofiltration Ultrafiltration	Retentat: Öle, Fette, bis zu 70% Wasser, Reiniger Permeat: Wasser, Reiniger (wenn ultrafiltrierbar)	Nach Abtrennung des Wassers, Externe Entsorgung als Altöl; soweit chlorfrei Verwertung mit Altölen (Zweitraffination) Rückführung ins Waschbad
Elektrokoagulation	Wasserphase: Restölgehalt, Reiniger Retentat: Öle, Fette, bis zu 70% Wasser, Reiniger	Rückführung ins Waschbad oder Abtrennung des emulgierten Öls durch Mikro-/Ultrafiltration Externe Entsorgung als Altöl; soweit chlorfrei Verwertung mit Altölen (Zweitraffination)
Verdampfer	Brüdenkondensat: Wasser ölhaltiger Rückstand: Feststoffe, Reiniger Salz, bei geeigneter Phasentrennung < 5% Wasser	Rückführung ins Spül- oder Waschbad Energetische Verwertung; Beseitigung SAV

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Beseitigung

- Verworfene Bäder und die überschüssige Wasserphase werden, ggf. nach vorheriger Ölabscheidung, der innerbetrieblichen Abwasserbehandlung oder einer CPB-Anlage zugeführt.
- Die abgetrennte Ölphase kann energetisch verwertet werden.
- Ölhaltige Schlämme werden meist verbrannt (energetische Nutzung oder **SAV**)

Arbeitsschutz bei Verwendung wässriger Reiniger

Wässrige Reinigungssysteme erzeugen in der Regel keine bedenklichen **Emissionen** in die Luft. Die Reinigungskonzentrate sind jedoch meist ätzend (sauer oder alkalisch). Daher sind beim Umgang mit wässrigen Reinigungsmitteln, insbesondere beim Ansetzen der Bäder, **Schutzhandschuhe** zu tragen.

Sind Hautgefährdungen durch Reinigungsmittel zu erwarten, hat der Unternehmer einen Hautschutzplan aufzustellen, in dem die Hautschutz-, Hautreinigungs- und Hautpflegemittel unter Berücksichtigung der verwendeten Einsatzstoffe festgelegt sind. Detaillierte Informationen hierzu finden Sie in der **BGR 143**.

Nichthalogenierte Lösemittel

Als Reinigungsmedien in Form von nichthalogenierten Lösemitteln werden überwiegend Gemische verschiedener Kohlenwasserstoffe (Benzine, Mineralölfraktionen unterschiedlicher Siedebereiche), synthetisch hergestellte Isoparaffine, modifizierte Alkohole (Alkoxy-Propanol) oder Mischungen dieser Stoffe eingesetzt. In untergeordnetem Maße kommen auch Alkohole, Ketone und Ester zum Einsatz.

Tabelle: Stoffeigenschaften gebräuchlicher Lösemittel (halogenfrei)

Lösemittel	Nicht chlorierte Lösemittel (Beispiele für Kohlenwasserstoffe)		
	Testbenzin (180/210)	Isoparaffin (155/175)	Siedegrenzenbenzin (100/140)
Siedepunkt/-grenzen (C)	180/210	155/175	100/140
Dichte (kg/l)	0,80	0,75	0,73
Verdunstungszahl (Ether = 1)	150	38	9
Flammpunkt	68	40	< 0
Brennbarkeit gemäß GefStoffV* und zugehöriger R-Satz	-	Entzündlich, R 10	Hochentzündlich F+, R 12
Gefahrklasse nach alter VbF*	A III	A II	A I

* Eine Gegenüberstellung der Einstufung **brennbarer Flüssigkeiten** gemäß der außer Kraft getretenen VbF und der GefStoffV finden Sie auf der Seite Rechtsgrundlagen > Gefahrstoffe und Gefahrgut > Gefahrstoffe > Umgang mit Gefahrstoffen > TRbF

Zusammenstellung: ABAG-itm, Pforzheim

Organische Lösemittel sind in erster Linie zur Abreinigung von Ölen und Fetten geeignet. Daher werden diese Substanzen hauptsächlich zur Entfettung eingesetzt. Anorganische Verschmutzungen wie Salze gehen nicht in Lösung, sondern werden nur abgespült. Bei höheren anorganischen Verschmutzungsanteilen ist eine Vorreinigung in wässrigen Systemen oder eine mechanische Unterstützung des Reinigungsvorgangs (z. B. Fluten oder Ultraschall) sinnvoll.

Organische Lösemittel sind grundsätzlich für alle Metalle geeignet. Bei Kunststoffen, lackierten, oder beschichteten Teilen muss zunächst überprüft werden, inwieweit das verwendete Lösemittel die Oberfläche angreift.

Organische Lösemittel werden meist in geschlossenen Anlagen (Reinigungsautomaten) eingesetzt. Bei der manuellen Reinigung in offenen Waschplätzen ist in der Regel eine Absaugung erforderlich.

Achten Sie bei der Verwendung nichthalogenierter Lösemittel darauf, dass die Produkte möglichst keine (gesundheitsschädlichen) Aromate (z. B. Toluol, Xylol oder Benzol) enthalten. Darüber hinaus ist zu beachten, dass nicht halogenierte Lösemittel brennbar sind. Maßnahmen zum Brand- und Explosionsschutz sowie zum Arbeitsschutz sind daher erforderlich. Weitere Informationen gibt die BGR 180.

Tabelle: Einsatzbereiche nichthalogenierter Lösemittel

Bezeichnung	Einsatzbereich
Benzol, Toluol oder Xylole	Chemische Industrie, Oberflächenbehandlung, Petrochemie, Kokereien
Waschbenzin, Petrolether, Ligroin, Testbenzin	Oberflächenbehandlung, Chemische Industrie, Herstellung von Anstrichmitteln
Kaltreiniger, frei von halogenierten organischen Lösemitteln	Metallverarbeitung, Gewerbliche Wirtschaft
Farb- und Lackverdünner (Nitroverdünner)	Oberflächenbehandlung, Chemische Industrie, Herstellung und Anwendung von Anstrichmitteln, Kunststoffverarbeitung
Petroleum	Oberflächenbehandlung, Gewerbliche Wirtschaft
Lösemittelgemische ohne halogenierte organische Lösemittel	Chemische Industrie, Gewerbliche Wirtschaft

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Bei **Einsatz und Lagerung** brennbarer Lösemittel sind folgende **Vorschriften** zu beachten:

- die Betriebssicherheitsverordnung BetrSichV in Verbindung mit den Technischen Regeln brennbare Flüssigkeiten (TRbF)
- die TRBS 2152/TRGS 720 - Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Allgemeines
- die TRBS 2152 Teil 1/TRGS 721 - Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre - Beurteilung der Explosionsgefährdung
- die TRBS 2152 Teil 2/TRGS 722 - Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre
- Die **TRBS 2153** - Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen
- die berufsgenossenschaftlichen Regel BGR 104.

Pflanzenölester, eine mögliche umweltfreundliche Alternative

Ziemlich neu auf dem Reinigungssektor sind Pflanzenölester. Diese sind keine in der Natur vorkommenden Stoffe, sondern vielmehr durch chemische Umwandlung aus Naturölen hergestellte Produkte.

Ihre Besonderheiten im Überblick:

- sie haben eine sehr geringe Verdunstungsrate
- ihr Flammpunkt liegt über 100 °C
- sie sind biologisch abbaubar
- sie besitzen ausgezeichnetes Fettlösevermögen
- sie entfetten die Haut nicht so rasch

Da sie nicht verdunsten

- bieten sie einen zeitweiligen Korrosionsschutz.
- ist ihre Lösungswirkung langsamer als bei flüchtigen Stoffen.

Pflanzenölester werden aus nachwachsenden Rohstoffquellen hergestellt, sodass die Ölressourcen Erde geschont werden. Größere epidemiologische Forschungs-Ergebnisse über Verträglichkeit am Arbeitsplatz stehen noch aus. Im Umgang erfordern sie gegenüber den "Konkurrenzprodukten" ein etwas anderes Handling.

Man kann sie mit dünnflüssigen Ölen vergleichen. Unachtsamer Umgang und Verschütten hinterlassen langfristige Spuren, zusätzlich bildet sich auf manchen Böden gefährliche Glätte. Andererseits besitzen sie hohe spezifische Reinigungskraft gegenüber Ölen, Fetten und Bitumen.

Eine Aufarbeitung gebrauchter Pflanzenölester ist aufgrund des hohen Siedepunktes und der Gefahr der destillativen Verschleppung der Verschmutzung derzeit nicht sinnvoll. Die energetische Verwertbarkeit richtet sich nach der Art der Verschmutzung, gegebenenfalls hilft ein filtrierender oder zentrifugierender Schritt, um unlösliche Feststoffe zu separieren.

Vermeidung von Lösemittelabfällen

Lösemittel sind **brennbare Flüssigkeiten** die hohe Anforderungen an den Arbeits- Explosions- und Brandschutz stellen. **Es sollte bei der Neueinrichtung intensiv geprüft werden, ob eine Reinigung mit organischen Lösemitteln zwingend erforderlich ist oder wässrige Reiniger ausreichen.** Hier ist auch eine Wirtschaftlichkeitsrechnung zur Systemauswahl sinnvoll.

Verminderung des Eintrags von Fetten und Ölen in das Reinigungsbad

Wie bei der wässrigen Reinigung werden Öl- und Fettrückstände auf den Werkstücken durch vorgelagerte Prozesse verursacht. Es sind also:

- die Hilfsstoffe der spanenden oder spanlosen Bearbeitung auf den nachfolgenden Reinigungsprozess abzustimmen
- Teile vorab mechanisch (Abblasen, Rütteln usw.) zu reinigen
- bei starker Verschmutzung, insbesondere bei anorganischen Verunreinigungen ist eine Vorreinigung sinnvoll.

Vermeidung von Ausschleppungen aus Reinigungsbädern

Zur Vermeidung von Ausschleppungen sollten, analog der wässrigen Reinigung, folgende Ansatzpunkte berücksichtigt werden:

- konstruktive Maßnahmen (z. B. Vermeidung schöpfender Teile)
- Verringerung des Austragsverlusts aus den Bädern (z. B. durch ausreichende Abtropfzeiten)
- Kaskadenführung bei größeren Durchsätzen

Bei organischen Lösemitteln sind zudem die **Verdunstungsverluste** zu beachten. Bei der manuellen Reinigung sollten offene Bäder sollten möglichst vermieden werden, z.B. indem Lösemittel nur bei Bedarf (z. B. über einen Schlauchpinsel) aus einem geschlossenen Behälter entnommen werden. **Offene Bäder sollten bei Nichtbenutzung immer abgedeckt werden.**

Mehrfachverwendung und Kaskadenführung

Bild: Waschplatz zur manuellen Teilereinigung

Quelle: Fa. Kärcher, Reinigungstechnik

Bei der manuellen Teile- und Apparatereinigung wird teilweise noch in unbewegten, offenen Lösemittelbädern gearbeitet. Durch die **Mehrfachverwendung des Lösemittels** mittels Kreislaufführung kann eine erhebliche Verminderung der anfallenden Lösemittelabfälle bei gleichzeitiger Reduzierung der Emissionen erreicht werden. Ein einfaches Beispiel für die Kreislaufführung ist ein Waschtisch, der aus einem geschlossenen Vorratsbehälter mit Lösemittel beschickt wird.

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

Bei der **manuellen Reinigung** wird frisches Lösemittel hauptsächlich zur Nachreinigung von mit gebrauchtem Reiniger vorgereinigten Teilen verwendet. Dies kann z. B. durch Verwendung von zwei getrennten Reinigungsgefäßen bzw. Waschtischen für Grob- und Feinreinigung erfolgen.

Bei **Einkammerreinigungsanlagen mit zwei Lösemittelvorlagebehältern** werden frisches und gebrauchtes Lösemittel für unterschiedliche Reinigungsaufgaben verwendet. Hierbei wird Frischware für Reinigungsaufgaben mit höheren Anforderungen eingesetzt, während das gebrauchte Lösemittel für Grobreinigungen verwendet wird. So können z. B. Lösemittel, die zur Teileentfettung nicht mehr verwendbar sind, zum Abspülen von Feststoffen, z. B. Spänen eingesetzt werden. Voraussetzung für die Realisierung ist die Festlegung entsprechender Reinigungsklassen und die Umsetzbarkeit der Logistik zur getrennten Behandlung der jeweiligen Reinigungsklassen.

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

Badkontrolle und -pflege und bessere Ausnutzung der Reinigungsbäder

Kontrolle und Pflege der Lösemittelqualität

Je konstanter die Bedingungen bei der Reinigung sind, desto reproduzierbarer und kontrollierbarer sind die Reinigungsergebnisse. Da die qualifizierte Messung und Beurteilung des Reinigungsergebnisses in der betrieblichen Praxis entweder nicht hinreichend genau bzw. reproduzierbar oder zu aufwändig bzw. zu teuer ist, ist eine Qualitätssicherung im üblichen Sinne nicht möglich. Damit kommt der Kontrolle der Reinigungsbedingungen eine erhöhte Bedeutung zu.

Filtration von Lösemitteln

Die Entfernung eingetragener Feststoffe führt zu einer **Verlängerung der Badstandzeit** des Lösemittels und damit einer Reduzierung der Abfallmengen. Hierzu können unterschiedliche Filterarten (Stecksiebe, Kerzenfilter, Beutelfilter usw.) eingesetzt werden. Die Lösemittelfiltration ist unter technischen Aspekten insbesondere bei Verwendung von Düsen im Reinigungsverfahren von Bedeutung (Verschleiß, Oberfläche). Beim Einsatz von Filtern sollte auf deren Wiederverwendbarkeit bzw. auf die Lösemittelentfernung aus den Filtereinsätzen (rückspülbare Systeme) geachtet, um zusätzliche lösemittelhaltige Abfälle zu vermeiden. Diese sind als **gefährliche Abfälle (Sonderabfälle)** zu entsorgen.

Verlängerung der Einwirkzeit

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

Verbesserung der Reinigungswirkung

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

Wiederaufbereitung von Lösemitteln

Organische Lösemittel können betriebsintern durch destillative Verfahren wieder aufbereitet und erneut eingesetzt werden, was aber nur bei großen Mengen wirtschaftlich ist. Die hier eingesetzte Verfahrenstechnik entspricht der bei der externen Verwertung angewandten.

Innerbetriebliche Kreislaufführung, Verwertung und Beseitigung

Innerbetriebliche Kreislaufführung und Verwertung

Organische Lösemittel können in der Regel wieder aufbereitet werden. Dies kann sowohl innerbetrieblich mit direkter Wiederverwendung als auch außerbetrieblich in zentralen Aufbereitungsanlagen erfolgen.

Voraussetzungen für eine effiziente Aufbereitung

Jede Verwertung wird erschwert oder unmöglich gemacht, wenn das gebrauchte Lösemittel mit Ölen oder anderen Flüssigkeiten (z. B. gebrauchten Schneidölen, Maschinenölen usw.) vermischt wird (z. B. bei gemeinsamer Sammlung in einem Tank). **Auf eine strikte Getrennthaltung muss bereits bei der innerbetrieblichen Sammlung geachtet werden.** Selbst wenn eine Verwertung nicht durchführbar ist, hat die Getrennthaltung Auswirkungen auf die Entsorgungsmöglichkeiten und Entsorgungskosten. Für eine Redestillation ist auch die Getrennthaltung unterschiedlicher Lösemittel erforderlich.

Destillation

Bild: Destillationsanlage

Quelle: OFRU-Recycling GmbH

Die bei der Reinigung eingesetzten nicht chlorierten Lösemittel sind chemisch und thermisch relativ stabil und können daher prinzipiell destillativ aufbereitet werden

Meist werden jedoch zur Reinigung Lösemittel eingesetzt, die aus einem Gemisch von verschiedenen Komponenten bestehen. **Haben die Komponenten sehr unterschiedliche Siedepunkte, so kann es bei der Destillation zu einer teilweise erheblichen Verschiebung der Zusammensetzung des Gemisches kommen**. Der Wiedereinsatz des gewonnenen Destillats ist daher in der Regel nicht mehr möglich. **Die Wiederaufbereitung von Gemischen wird deshalb vorwiegend extern, z. B. durch Lohndestillateure, vorgenommen**.

Verfahren:

Normaldruck-Destillation

Zur Normaldruck-Destillation werden im Allgemeinen einstufige, ex-geschützte Anlagen eingesetzt. Diese bestehen üblicherweise aus einem Edelstahlbehälter, in den das verschmutzte Lösemittel eingefüllt wird. Die Beheizung dieses Behälters erfolgt indirekt über eine Wärmeträgerflüssigkeit im Mantel des Behälters. Der entstehende Lösemitteldampf wird über ein Rohr aus dem Behälter abgeleitet und mittels Luft- oder Wasserkühlung kondensiert. Mit entsprechend einfachen Anlagen ist auch eine **Wasserdampfdestillation** möglich: In diesem Fall wird dem (wasserunlöslichen) Lösemittel im Destillationsbehälter Wasser zugesetzt, es destillieren Wasserdampf und Lösemitteldampf über. Hierbei geht das Lösemittel bereits bei Temperaturen über, die erheblich unter der eigentlichen Siedetemperatur liegen. Das Verfahren eignet sich daher vor allem für die schonende Destillation höher siedender Lösemittel. In einem Abscheider wird das Lösemittel vom Wasser getrennt und das Wasser wieder für die nächste Charge eingesetzt. **Separate Normaldruck-Destillationsanlagen werden zur Destillation von leichtflüchtigen (A I und A II, Einteilung gemäß noch gebräuchlicher Klassifizierung nach alter VbF) Lösemitteln eingesetzt.** Bei Gemischen dürfen die Siedepunkte der enthaltenen Einzelkomponenten nicht weiter als ca. 30 bis 50 °K auseinander liegen. Die Arbeitstemperaturen entsprechender Destillationsgeräte liegen üblicherweise zwischen 40 °C und maximal 160 °C. Der entstehende Rückstand muss - zumindest in heißem Zustand - noch flüssig sein, damit er aus dem Destillationsgefäß abgelassen werden kann (andernfalls muss mit einer Anlage zur Sumpfdestillation gearbeitet werden).

Sumpfdestillation

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

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

Vakuumdestillation

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

Alternativ können **Vakuumdestillationsanlagen mit Brüdenkompression** eingesetzt werden, die deutlich **weniger Energie** verbrauchen.

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

Abfallentsorgung (Verwertung oder Beseitigung)

Verbrauchte Lösemittel sind als gefährliche Abfälle eingestuft, können aber in den meisten Fällen **energetisch verwertet** werden. Schadstoffe sind Chlor oder Schwermetalle. Ansonsten werden sie über eine Sonderabfallverbrennung (**SAV**) entsorgt.

Destillationsrückstände können ebenfalls energetisch verwertet werden, ansonsten sind sie in einer SAV zu beseitigen.

Verbrauchte Aktivkohle aus der Abluftreinigung wird, soweit sie nicht wieder aufbereitet werden kann, in einer SAV beseitigt.

In der Praxis sind insbesondere solche Reinigungsmittel für eine Rückgewinnung geeignet, die chemisch gesehen nur aus einer Komponente bestehen (z. B. Isopropanol, Cyclohexan). Hier erhält man bei der Destillation - wie bei den chlorierten Lösemitteln - in der Regel das reine Originallösemittel. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass sich Siedepunkte von Lösemitteln und von Verunreinigungen um mindestens 80 °K unterscheiden. Im Fall von leichtflüchtigen Lösemitteln ist diese Bedingung bei den üblichen Verunreinigungen (Fette, Öle, Lackreste usw.) im Allgemeinen erfüllt. **Einkomponentensysteme eigenen sich daher sehr gut für das innerbetriebliche Recycling.**

Emissionsminderung beim Reinigen mit organischen Lösemitteln

Oberflächenreinigungsanlagen im gewerblichen Bereich sind meist nicht genehmigungsbedürftig nach **BImSchG** (Ausnahme: Anlagen mit mehr als 25 kg/h oder mehr als 15 t/a Lösemittelverbrauch). Dennoch sind auch nicht genehmigungsbedürftige Anlagen generell so zu betreiben, dass nach dem Stand der Technik vermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden (§ 22 BImSchG).

Wichtig hinsichtlich der **Emissionsbegrenzung** ist die **31. BImSchV (Lösemittelverordnung),** unter die alle Oberflächenreinigungsanlagen mit mehr als 1 t/a Lösemittelverbrauch pro Jahr fallen. Der Emissionsgrenzwert für gefasste Abluft beträgt 75 mg C/m³, zusätzlich dürfen bei einem Lösemittelverbrauch zwischen 1 und 10 t/a maximal 20 % der eingesetzten Lösemittel diffus emittiert werden, bei höheren Verbrauchen gilt ein Grenzwert von 15 %. Diese Grenzwerte gelten nicht, wenn Reinigungsmittel mit weniger als 20 % organischen Lösemitteln eingesetzt werden.

Lösemittelbilanz

Zur Ermittlung des Lösemittelverbrauchs ist eine Lösemittelbilanz erforderlich. Hierbei ist wie folgt vorzugehen: Die Menge der verbrauchten Lösemittel entspricht der Menge der eingesetzten, abzüglich der wieder verwendeten Lösemittel. Als wieder verwendet sind die Lösemittel definiert, die für technische oder kommerzielle Zwecke zurück gewonnen oder als Brennstoff im Betrieb genutzt werden.

Abgasreinigung oder Reduzierungsplan

Überschreitet man den Schwellenwert von 1 t/a so sind entsprechende Abgasreinigungsmaßnahmen zu ergreifen, z. B. Installation einer geschlossenen Reinigungsanlage mit integrierter Abgasreinigung.

Alternativ kann ein Reduzierungsplan umgesetzt werden. Voraussetzung ist, dass mit Hilfe des Reduzierungsplans die gleiche oder eine größere Menge an VOC-Emissionen vermieden wird, wie durch die Abluftreinigung.

Dies kann z. B. durch Umstellung auf wässrige Reinigung oder auch durch den Einsatz höher siedender Lösemittel wie Pflanzenölester erreicht werden.

Arbeitsschutz und Anlagensicherheit

Organische Lösemittel wirken sich negativ auf Haut, Atemweg und Augen aus. Schädlich ist dabei der Kontakt mit der Flüssigkeit, das Einatmen von Dämpfen, Aerosolen oder Sprühnebeln.

Die folgenden Maßnahmen sind zu berücksichtigen:

- Bei **manuellen Reinigungstätigkeiten** und beim Beschicken von Anlagen müssen grundsätzlich geeignete Handschuhe getragen werden. Als Handschuhmaterial hat sich Nitrilkautschuck bewährt.
- Bei der **offenen Verwendung** von leichtflüchtigen und flüchtigen Lösemitteln (AI und AII, Bezeichnung gemäß noch gebräuchlicher Klassifizierung nach alter **VbF**) ist eine Absaugung zwingend erforderlich.
- Bei hochsiedenden Reinigern kann es beim Versprühen zu Aerosolbildung kommen. **Sprühanwendungen** sollten daher in geschlossenen Anlagen mit Verriegelung durchgeführt werden, um ein versehentliches Öffnen der Anlage im Betrieb zu verhindern.
- Die Einhaltung der Arbeitsplatzgrenzwerte **AGW** muss durch regelmäßige Messungen überwacht werden.
- Aus Gesundheitsgründen sollte auf Reiniger mit **Aromaten verzichtet** werden.

Wichtige Informationen zum Arbeitsschutz der Anlagensicherheit sind in der BGR 180 zusammengestellt. Die gefährlichen Inhaltsstoffe sind und die AGW ergeben sich aus den **Sicherheitsdatenblättern** der Hersteller. Diese sollten für alle eingesetzten Reiniger angefordert und bezüglich der zu ergreifenden Maßnahmen geprüft werden.

Explosions- und Brandschutz

Alle organischen Reinigungsmittel sind brennbar. Die Brand- und Explosionsgefährdung sowie die Explosionsschutzzonen werden anhand des Flammpunktes eingeteilt.

1. Arbeiten mit leicht entzündlichen Reinigungsmitteln (Flammpunkt kleiner 21 °C)

- Der gesamte Raum ist feuergefährdet.
- Der Bereich 2,5 m um den Arbeitsplatz ist als Zone 1 einzustufen. Es ist also gelegentlich eine explosionsfähige Atmosphäre vorhanden.

2. Arbeiten mit entzündlichen Reinigungsmitteln (Flammpunkt zwischen 21 und 55 °C)

- Der gesamte Raum ist feuergefährdet.
- Der Bereich 1,0 m um den Arbeitsplatz ist als Zone 2 einzustufen. Es ist also selten und kurzzeitig mit einer explosionsfähigen Atmosphäre zu rechnen.

Für die Beurteilung des Explosionsschutzes im Rahmen der **BetrSichV** muss der Reinigungsbereich in die verschiedenen Ex-Schutz-Zonen eingeteilt werden (zu den Anforderungen der BetrSichV siehe auch Rechtsgrundlagen > Betriebs- und Anlagensicherheit > Betriebssicherheit > Explosionsgefährdete Bereiche).

Tabelle: Zoneneinteilung im Ex-Bereich

Zone 0	Bereiche, in denen gefährliche explosionsfähige Atmosphäre durch Gase, Dämpfe oder Nebel ständig oder langzeitig vorhanden ist.
Zone 1	Bereiche, in denen damit zu rechnen ist, dass gefährliche explosionsfähige Atmosphäre durch Gase, Dämpfe oder Nebel gelegentlich auftritt.
Zone 2	Bereiche, in denen damit zu rechnen ist, dass gefährliche explosionsfähige Atmosphäre durch Gase, Dämpfe oder Nebel nur selten und dann auch nur kurzzeitig auftritt.

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim, in Anlehnung an BetrSichV, Anhang 3

Die gefährdeten Bereiche müssen mit den entsprechenden **Gefahrensymbolen** gekennzeichnet sein (siehe auch Sicherheitsdatenblatt). Je nach Gefährdung sind entsprechende bauliche Maßnahmen (z. B. Brandschutztüren) und technische Maßnahmen (ex-geschützte Werkzeuge) zu ergreifen.

Chlorierte Kohlenwasserstoffe

Chlorierte Kohlenwasserstoffe (**CKW**) wurden wegen ihrer guten und universellen Reinigungswirkung, der schnellen Trocknung sowie ihrer Unbrennbarkeit in der Vergangenheit in großem Umfang für die Entfettung eingesetzt. Aufgrund der Einstufung bestimmter CKW in die Liste der potenziell krebserregenden Stoffe, ihres wassergefährdenden Potenzials und der Emissionen in die Atmosphäre wurde ihr Einsatz stark reglementiert.

Der Einsatz folgender CKW ist derzeit noch gesetzlich erlaubt:

- Dichlormethan
- Trichlorethen
- Tetrachlorethen

Der Einsatz von 1.1.1 – Trichlorethan ist aufgrund seines ozonschädigenden Potenzials verboten. Die früher übliche Verwendung von Dichlormethan als Abbeizer wurde durch die REACH-Verordnung Anhang XVII Nr. 59 stark eingeschränkt.

Beim Umgang mit halogenierten Kohlenwasserstoffen ist eine Reihe von Besonderheiten zu beachten:

- Aufbewahrung nur in **lichtundurchlässigen Behältern**
- CKW-Dämpfe sind vier- bis fünfmal schwerer als Luft, die **Raumabsaugung muss daher in Bodennähe** erfolgen
- **CKW-Lösemittel zersetzen sich bereits bei der Anwesenheit von geringen Mengen an Säuren**

Chlorierte Lösemittel werden zur Vermeidung der Zersetzung und von Korrosion meist stabilisiert. **Die Stabilisatoren müssen auf das jeweilige Lösemittel und die Art der Verschmutzung abgestimmt sein**. Die entsprechenden Zusatzstoffe werden vom Lösemittelhersteller in der Regel dem Lösemittel direkt beigemischt, werden aber auch separat angeboten.

Der Zustand der Lösemittel sollte mindestens wöchentlich kontrolliert werden. Hierbei sind insbesondere die Parameter pH-Wert und totale Säureaufnahme zu überwachen. Analysesets können über den Lösemittelhersteller bezogen werden.

Vermeidung von Abfällen aus chlorierten Kohlenwasserstoffe

Um die Schmutzbelastung der **CKW**-Reinigungsbäder gering zu halten und deren Standzeit zu verlängern sollte **der Reinigung mit chlorierten Lösemitteln immer eine intensive Vorreinigung vorangestellt werden**.

Im Übrigen gelten wie bei den anderen Reinigungssystemen die Vermeidungsansätze:

- Verringerung des Eintrags von Fetten, Ölen und Schmutz in des Reinigungsbad und
- Verringerung der Ausschleppverluste.

Zusätzlich ist beim Einsatz von chlorierten Lösemitteln darauf zu achten,

- dass keine Säuren aus vorhergehenden Bädern eingeschleppt werden und
- dass keine Lösemittel in nachfolgende Bäder verschleppt werden, da CKW-belastetes Abwasser separat behandelt werden muss.

Die Werkstücke sind also nach der Reinigung zu trocknen.

Wichtig zur Verlängerung der Standzeit sind

- eine wöchentliche Kontrolle der Bäder hinsichtlich des pH-Werts
- die Zudosierung von Stabilisatoren und
- die regelmäßige Entfernung von Fremdstoffen

Chlorierte Lösemittel dürfen **ausschließlich in gekapselten Anlagen** eingesetzt werden, die oft bereits mit mechanischen Reinigungssystemen und einer Vakuumdestillation ausgerüstet sind.

Die **Standzeit** von CKW-Lösemittelbädern beträgt bei guter Badpflege bis zu **zwei Jahren.**

Verwertung und Beseitigung von Abfällen aus chlorierten Kohlenwasserstoffen

Chlorierte Lösemittel (**CKW**) dürfen nicht mit anderen Lösemitteln vermischt werden (**HKWAbfV**). Weiterhin sind die Hersteller verpflichtet, gebrauchte Produkte zurückzunehmen.

Verwertung

- Chlorierte Kohlenwasserstoffen können **destillativ aufgearbeitet und verwertet** werden (z. B. mittels Normaldruck- oder Vakuumdestillation).
- Destillatsümpfe aus ölangereichertem Lösemittel können durch **Lösemittelabtrennanlagen** getrennt werden.
- Durch die Trennung des Öls vom Lösemittel kann das **Restöl in der Regel energetisch verwertet** werden.

Für die **Abgasreinigung bei Anlagen mit chlorierten Lösemitteln** wird im Allgemeinen die Adsorption an Aktivkohle mit Regeneration der Aktivkohle mittels Wasserdampf und anschließender Kondensation des Wasserdampf/Lösemittelgemisches eingesetzt. Hierbei fällt CKW-belastetes Abwasser an. Dieses kann entweder im Kreislauf gefahren werden oder muss einer Behandlung zugeführt werden.

Als **abwasserfreie Alternative** kommt die Regeneration der Aktivkohle mit Inertgas oder Heißluft und anschließender Kondensation der Lösemittel an einer Kühlfalle in Frage. Weiterhin ist die Adsorption von chlorierten Lösemitteln an Adsorberharzen bzw. Molekularsieben und anschließende Desorption unter Vakuum bzw. mit Heißgas möglich.

Beseitigung

Auf Grund des Chlorgehalts müssen CKW-haltige Abfallstoffe (verworfene Bäder, Schlamm, Destillationssumpf), soweit sie nicht (destillativ) aufgearbeitet (verwertet) werden, als **gefährlicher Abfall** (Sonderabfall) beseitigt werden. Dies erfolgt in der regel in einer Sonderabfallverbrennungsanlage (**SAV**).

Emissionsbegrenzung bei chlorierten Kohlenwasserstoffen

Auf Grund des hohen Umweltgefährdungspotenzials der **CKW** stellt die **2. BImSchV** sehr hohe Anforderungen an den Betrieb von nicht genehmigungsbedürftigen Oberflächenbehandlungsanlagen (z. B. Entfettung, Be- und Entschichtung mit Chlorkohlenwasserstoffen oder CKW-haltigen Produkten). **Es dürfen nur noch Tetrachlorethylen (Per), Trichlorethylen (Tri) und Dichlormethan eingesetzt werden**. Für diese Anlagen gelten folgende Anforderungen:

- Behandlung des Behandlungsgutes in einem **allseits geschlossenen Gehäuse** und Ausschöpfung des Standes der Technik zur Emissionsbegrenzung.
- **Begrenzung der Massenkonzentration im Entnahmebereich** an leichtflüchtigen HKW auf 1 g/m³. Bei Überschreiten dieses Wertes muss eine selbsttätige Verriegelung sicher stellen, dass das Behandlungsgut nicht entnommen werden kann.
- **Zuführung abgesaugter Abgase zu einem Abscheider.** Ziel: Emissionsbegrenzung auf 20 mg/m³, bei mehr als 50 % Dichlormethan im Lösemittel auf 50 mg/m³.
- **Rückgewinnung** abgeschiedener leichtflüchtiger Halogen-Kohlenwasserstoffe.
- Einrichtung zum **kontinuierlichen Messen** mit aufzeichnender Messeinrichtung oder Einrichtung mit Registrierung eines Anstiegs der Massenkonzentration auf mehr als 1 g/m³ und Auslösung einer **Zwangsabschaltung der Anlage**.

Als Betreiber einer Oberflächenbehandlungsanlage sollten Sie prüfen, ob die Entfettung nicht mit wässrigen Reinigungsmitteln oder alternativen Verfahren (Plasmareinigung) durchgeführt werden kann. Dies ist auch aus Arbeitsschutzgründen sinnvoll, weil Tri, Per und Dichlormethan als krebsverdächtig eingestuft sind.

Verwendung leichtflüchtiger Halogen-Kohlenwasserstoffe

Der Betreiber von Entfettungsanlagen in denen leichtflüchtige CKW eingesetzt werden muss folgende **Eigenkontrollen** ausführen:

- Aufzeichnen der eingesetzten Mengen an leichtflüchtigen Halogen-Kohlenwasserstoffen
- Mengen an Lösemittel oder lösemittelhaltigen Stoffen, die der Entsorgung oder Wiederaufbereitung zugeführt werden
- Betriebsstunden der Anlage
- Instandhaltungsmaßnahmen
- Arbeitstägliche Überprüfung der Funktionsfähigkeit bei Anlagen mit Abscheidern, soweit nicht die Funktionskontrolle durch kontinuierliche Messgeräte oder automatische Abschaltung vorgenommen wird.

Neuanlagen müssen vor Inbetriebnahme bei der unteren **Immissionsschutzbehörde angezeigt werden.**

Die **vorgeschriebenen Messungen** müssen von einer nach §26 **BImSchG** anerkannten Messstelle durchgeführt werden. Folgende **Messzeitpunkte und -intervalle** müssen eingehalten werden:

- erstmalige Messung: frühestens 3 und spätestens 6 Monate nach Inbetriebnahme
- wiederkehrende Messungen: jährlich, jeweils längstens nach 12 Monaten
- Wiederholungsmessungen: innerhalb von 6 Wochen, wenn das Ergebnis der vorhergehenden Messung nicht den Anforderungen entsprochen hat.

Die **Aufzeichnungen müssen drei Jahre lang aufbewahrt** und der unteren Immissionsschutzbehörde auf Verlangen vorgelegt werden.

Beim Umgang mit leichtflüchtigen Halogen-Kohlenwasserstoffen ist zu beachten:

- Beim Befüllen von Anlagen bzw. bei der Entnahme gebrauchter Lösemittel sind die Abgase abzusaugen und einem Abscheider zuzuführen oder nach dem Gaspendelverfahren auszutauschen.
- Die Entnahme von Rückständen mit leichtflüchtigen HKW aus Anlagen darf nur mit geschlossener Vorrichtung erfolgen.
- Lagerung, Transport und Handhabung von leichtflüchtigen HKW oder HKW-haltigen Rückständen darf nur in geschlossenen Behältnissen erfolgen.

Arbeitsschutz und Anlagensicherheit beim Reinigen mit halogenierten Lösemitteln

Chlorierte organische Lösemittel (**CKW**) sind **Gefahrstoffe**. Sie sind teilweise krebserregend und mutagen und wirken sich schädlich auf Haut, Atemwege und Augen aus. Schädlich ist vor allem der Kontakt mit der Flüssigkeit sowie das Einatmen von Dämpfen, Aerosolen oder Sprühnebeln.

Aufgrund der besonderen **Gesundheitsgefahren**

- ist die Anwendung von CKW nur in geschlossenen Anlagen mit Schleusen zulässig.
- darf der Transport nur in geschlossenen Gefäßen erfolgen
- darf am Arbeitsplatz nur soviel Lösemittel gelagert werden, wie zum Fortgang der Arbeit notwendig ist
- sind manuelle Reinigungstätigkeiten mit CKW nicht zulässig (Ausnahme ist die Reinigung von Sauerstoffarmaturen)

Vorkehrungen beim unbeabsichtigten Freiwerden von CKW sind in **Betriebsanweisungen** festzuhalten und für Mitarbeiter sind entsprechende Schulungen durchzuführen.

Im Berufsgenossenschaftlichen Merkblatt BGI 767 "Chlorkohlenwasserstoffe
Merkblatt M 040" sind die entsprechenden Informationen zusammengestellt. Welche gefährlichen Inhaltsstoffe im Reinigungsmittel enthalten sind, ergibt sich aus den **Sicherheitsdatenblättern** der Hersteller. Diese sollten für alle eingesetzten Reiniger angefordert werden.

Auswahl von Beschichtungsstoffen

Bei der Auswahl von Lacksystemen sind in erster Linie die Qualitätsanforderungen der Kunden an die Oberfläche, z. B. die Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit, zu beachten. Es müssen aber auch Umweltaspekte und die mögliche Gesundheitsgefährdung bei der Auswahl der Lacksysteme berücksichtigt werden - wesentlich sind hier insbesondere die Lösemittelemissionen.

In den letzten ca. 20 Jahren sind zahlreiche Materialien und Verfahren entwickelt worden, die Lösemittelemissionen beim Lackieren zu reduzieren, z.B.:

- Es stehen heute **Applikationstechniken zur Verfügung,** die den Lackverbrauch (Ressourcenschonung) und damit auch die Lösemittelemission deutlich verringern (siehe: Metallbearbeitung > Beschichtungsverfahren > Lackieren > Nasslackiertechnik)
- **Lösemittelarme Lacksysteme,** z. B. Wasserlacke (siehe: Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Beschichtungsstoffe > Nasslacke) sind für viele Anwendungsfälle verfügbar.
- Die **lösemittelfreie Pulverbeschichtung** ist qualitativ soweit entwickelt, dass auch hohe Ansprüche an die (optische) Oberflächenqualität erfüllt werden können.

Zudem verpflichtet die **31. BImSchV** (Lösemittelverordnung) Unternehmen, ihre **Lösemittel-emissionen** zu reduzieren, entweder durch den Einbau entsprechender Filteranlagen bzw. Einrichtungen zur Abluftbehandlung oder durch Umstellung der Prozesse auf lösemittelarme Systeme. In Zuge der anstehenden **Verminderung von Lösemittelemissionen** bietet sich die Chance, über eine vergleichende Wirtschaftlichkeitsrechnung zu prüfen, ob eine Umstellung auf ein lösemittelarmes System nicht kostengünstiger ist als der Einbau einer zusätzlichen Abluftreinigungsanlage, die dauerhaft zusätzliche Betriebskosten verursacht.

Nasslacke

Nasslacke bestehen im Wesentlichen aus Bindemitteln (Polymerharze), Lösemitteln, Füllstoffen und Pigmenten (nicht in Klarlacken) sowie Hilfsstoffen (Additive). Die Bindemittel sind für die Filmbildung und Filmeigenschaften verantwortlich. Die Pigmente geben dem Lack seine Farbe, während Füllstoffe annähernd „optisch neutral“ sind und verschiedene Lackfilmeigenschaften (u. a. Härte, Beständigkeit, Schleifbarkeit) beeinflussen. Hilfsstoffe sollen bestimmte Lack- und Lackfilmeigenschaften verbessern und dienen u.a. als Trockenstoffe, Entschäumer, Verlaufsmittel, Lichtschutzmittel, usw..
Schwermetallhaltige Lacke werden heute nur noch in Ausnahmen eingesetzt.

Nasslacke können nach verschiedenen, grundsätzlichen Kriterien unterschieden werden:

Eine mögliche Unterscheidung kann in **Ein-Komponenten und Zwei-Komponentensysteme** erfolgen. Bei 1-K-Systemen enthält der Lack alle zur Filmbildung erforderlichen Bestandteile. 2-K-Systeme bestehen aus einem Stammlack und einem Härter, der kurz vor der Verarbeitung zugegeben wird. 2-K-Lacke können bei Raumtemperatur aushärten und sind meist chemisch und mechanisch stabiler als 1-K-Systeme.

Weiterhin können z. B. **physikalisch trocknende und vernetzende Lacke** (Einbrennlacke, Zweikomponentenlacke) unterschieden werden.

Bild: Spritzlackierstand mit Trockenfilter

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Unter Umweltgesichtspunkten ist die Unterscheidung in Lösemittellacke, Wasserlacke und UV-Lacke wichtig.

Lösemittellacke bestehen aus Polymeren als Bindemittel in einem organischen Lösemittel, oft mit Farbpigmenten und verschiedenen Hilfsmitteln. Bei der Trocknung verdampft das Lösemittel vollständig. Lösemittellacke sind in der Regel einfacher zu verarbeiten als z. B. Wasserlacke, sie stellen geringere Anforderungen an die Anlagentechnik (z. B. hinsichtlich der Korrosionsbeständigkeit) und sie trocknen schneller. Man unterscheidet hier je nach Festkörpergehalt zwischen Low-Solid (Festkörpergehalt < 30 %) und High-Solid Lacken > 65 %).

High Solid-Lacke sind wegen ihres geringeren Lösemittelanteils vorzuziehen. Sie sind auf die für Lösemittel üblichen Applikationssysteme ausgelegt; allerdings sollten evtl. Änderungen der Verarbeitungsbedingungen gegenüber konventionellen Lösemittellacken (z. B. Gefahr der Überbeschichtung) beachtet werden.

In Wasserlacken ist das Bindemittel in Wasser gelöst oder in feinen Tröpfchen bzw. Teilchen im wässrigen Medium verteilt. Solche Emulsionen oder Dispersionen werden durch den Zusatz von Tensiden (Emulgatoren) stabilisiert. Durch Kombination wasserlöslicher Bindemittel mit Dispersionen (Hybridsystem) können die Gebrauchseigenschaften von Wasserlacken verbessert werden (z. B. bezüglich Antrocknung und Verdünnbarkeit). Wasserlacke werden als Elektrophoreselacke, Grundierungen, Füller, Tauchlacke, Decklacke oder generell als Industrie- und Automobilserienlacke eingesetzt.

Unter Umweltgesichtspunkten bieten **Wasserlacke** wegen ihres geringen Lösemittelanteils von in der Regel unter 10% **erhebliche Vorteile.** Sie erfordern allerdings mehr oder weniger große Umstellungen bei der Verarbeitung und Anlagentechnik.

UV-Lacke: In letzter Zeit werden auch im Bereich der Metalllackierung zunehmend **UV-Lacksysteme** eingesetzt. Die unter UV-Licht aushärtenden Lacke sind als lösemittelhaltige, wässrige und sogen. 100%-Systeme (enthalten Lösemittel, die bei der Aushärtung im Lackfilm einpolymerisiert werden und nicht mehr verdunsten), verfügbar. Vorteile bestehen in der **extrem kurzen Aushärtezeit** (Sekundenbereich), bei der ein wesentlich höherer Produktdurchsatz gegenüber der Trocknung konventioneller Lacke erzielt werden kann sowie in der möglichen hohen Kratzbeständigkeit.

Geeignet sind UV-Lacke vor allem für geometrisch einfache Werkstücke. Ansonsten muss die UV-Strahleranordnung bzw. –bewegung der Geometrie der zu lackierenden Teile angepasst werden, zudem beeinträchtigen Hinterschneidungen und Hohlräume (Schattenbildung) die Aushärtung. Ein weiterer Nachteil besteht derzeit noch in der eingeschränkten Farbauswahl.

Bei geeigneten Randbedingungen können mit UV-Lacken daher sowohl die Lösemittelemissionen als auch der Energieverbrauch gesenkt werden.

Weitere Informationen sind unter Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Beschichtungsverfahren > Lackieren > Spritzlackieren verfügbar.

Vermeidung und Verminderung von Lackabfällen

Abfallarten

Bei Lackierprozessen fallen unterschiedliche Abfallarten an. Die bedeutendsten sind:

- Beladene Filtermatten aus der **Trockenabscheidung** von Lackoverspray
- Farb- und Lackschlämme aus der **Nassabscheidung** von Lackoverspray
- Farb- und Lackreste
- Verunreinigte Lösemittel aus Reinigungsvorgängen, z. B. beim Farbwechsel
- Schleifstäube und -schlämme

Darüber hinaus fallen in Lackierbetrieben weitere Abfälle aus den Vorbehandlungsschritten (z.B. verschmutzte Reinigungsmittel, Abdeckmaterialien, Abwasser) an.

Farb- und Lackschlämme und beladene Filtermatten

Mit Farb- und Lackschlämmen sind hier farb- und lackhaltige Schlämme gemeint, die bei der **Nassabscheidung** von Lackpartikeln aus der Kabinenabluft in Spritzlackierständen und -kabinen (Lackkoagulat, verbrauchtes Kabinenwaschwasser) sowie bei der Reinigung lackverunreinigter Geräte , Armaturen und Rohrleitungen mit Lösemitteln bzw. Wasser anfallen.

Beladene Filtermatten entstehen als Abfall bei der **trockenen Abluftreinigung** von Lackoverspray. Für diese Abfälle sind keine Vermeidungs- oder Verwertungsverfahren bekannt.

Maßnahmen zur Aballreduzierung bei der Spritzlackierung

- Einsatz von **Applikationsverfahren mit hohem Auftragswirkungsgrad**.
  Beispiel: Durch Umstellung von Hochdruck-Spritzpistolen auf Niederdruck (**HVLP**)-Pistolen sind bei optimiertem Spritzbetrieb Verbesserungen des Auftragswirkungsgrads von bis ca. 20 %, je nach Ausgangssituation erreichbar.
- Umstellung auf **abfallarme Lackierverfahren**.
  Tauchen, Gießen und Walzen sowie Pulverbeschichtung sind im Vergleich zur Spritzlackierung weniger abfallintensiv und sollten deshalb, sofern werkstückbezogen und qualitativ machbar, bevorzugt eingesetzt werden.
- Einführung eines innerbetrieblichen **Overspray-Recyclings**.
  Zur Rückgewinnung des Oversprays, vor allem von 1-K-Wasserlacken, stehen mehrere praxiserprobte Verfahren zur Verfügung, die sich bezüglich des Funktionsprinzips und der Anwendungsbereiche voneinander unterscheiden. Die wichtigsten sind:

- Oversprayabscheidung und Rückgewinnung im Lackvorrat (lackbeflutete Lack-in-Lack-Kabine)
- Oversprayabscheidung und Rückgewinnung an Auffangflächen, z. B. gekühlte Flächen (coolac-Verfahren)
- Abscheidung im Auswaschwasser und Aufkonzentration mittels Ultrafiltration.

Ultrafiltrationsanlage für Lack

Quelle: Fa. Wurster

Der Einsatz dieser Techniken bedingt in der Regel, den Lackierprozess bzw. das Lacksystem anzupassen. Aufgrund der Vielfalt der Kriterien, die bei der Einführung eines innerbetrieblichen Overspray-Recyclings zu berücksichtigen sind, ist es ratsam, sich beraten zu lassen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die optimale Lackausnutzung besteht in der **Qualifizierung bzw. Schulung der Lackierer**. Zur nachhaltigen Anwendung von lackverlust-reduzierten Lackiertechniken hat dabei das Verständnis der Prozesszusammenhänge eine hohe Bedeutung.

Weitere Details zu abfallarmen Lackiertechniken finden Sie im Bereich Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Beschichtungsverfahren > Lackieren.

Farb- und Lackreste

Da fertig gemischte Farben nur in Gebinden von mindestens 1 kg angeliefert werden, kommt es bei selten gebrauchten Farben oft zur Überlagerung von Lacken. Hier können **Lackmischanlagen** Abhilfe schaffen, die aus Grundfarben sämtliche benötigten Farbtöne in der jeweils benötigten Menge mischen können. Dadurch werden nicht nur Abfälle, sondern auch die Lagerhaltungskosten reduziert.

Nicht verbrauchte und nicht ausgehärtete Lackreste können evtl. in eingeschränktem Maß intern verwertet werden, z.B. als **Beimischung zum Füller** oder als Vorlackierung/Grundierung nicht sichtbarer Teile.

Verunreinigte Lösemittel aus Reinigungsvorgängen

Zur Verringerung von Lösemittelabfällen aus Reinigungsvorgängen, z.B. beim Farbwechsel, sind Geräte verfügbar, mit denen eine **Vorreinigung mit bereits gebrauchtem Lösemittel** erfolgt, sodass das Lösemittel teilweise im Kreis gefahren werden kann. Die Schlussreinigung erfolgt mit frischem Lösemittel.

Verunreinigte Lösemittel können intern oder extern redestilliert und wieder eingesetzt werden. Voraussetzung ist, dass unterschiedliche Lösemittel nicht vermischt und Verunreinigungen durch Öle und Fette usw. vermieden werden, da diese den Destillationsprozess erheblich erschweren. Das Destillationsgerät muss getrennt von der Lackieranlage in einem explosionsgeschützten Raum aufgestellt werden.

Der verbleibende Destillationsrückstand kann energetisch verwertet werden.

Weitere Informationen zur Lösemittelaufbereitung finden Sie auf der Seite Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Reinigung > Nichthalogenierte Lösemittel > Entsorgung.

Schleifstäube und -schlämme

Grundsätzlich sollten Schleifarbeiten als arbeits- und kostenintensive Maßnahme soweit als möglich reduziert werden. Dies erfordert meistens Veränderungen in vorgeschalteten Fertigungsschritten, z. B. erhöhte Genauigkeit im Rohbau, Vermeidung von Lackierfehlern in Grundierungen usw. oder Abstimmung der Lacke bei Mehrschichtlackierungen, um eine Zwischenhaftung ohne Schliff zu erreichen.

Verwertungsmöglichkeiten für Lackabfälle

Farb- und Lackschlämme aus der Nassabscheidung (Lackkoagulate, erschöpftes Kabinenauswaschwasser) und der Gerätereinigung sind, sofern sie organische Lösemittel enthalten, gefährliche Abfälle (Sonderabfälle9 (AVV 080113*). Dies dürfte der Regelfall sein, da selbst Wasserlacke bis zu ca. 10 % organische Lösemittel enthalten, von denen Reste im Lackschlamm verbleiben.

Verwertung von Lackkoagulaten

Abhängig vom Lackmaterial, der Auswaschung, der Koagulierungsmethode (flotierend, sedimentierend) sowie einer eventuell durchgeführten betriebsinternen Entwässerung schwankt der Wassergehalt von Lackkoagulaten stark (von ca. 20 bis 70%); dasselbe gilt für den Heizwert (von ca. 1000 bis 24 000 kJ/kg). Je nach Zusammensetzung und Qualität lassen sich Lackkoagulate unterschiedlichen Verwertungsverfahren zuführen:

- **Stofflich hochwertige Verwertung** des Lackkoagulats durch Aufarbeitung zu Lackkomponenten bzw. Recyclinglack. Die Aufarbeitung von Lackkoagulaten (Auftrennung in Bindemittel, Pigmente, Lösemittel und teilweise Wiederverwendung der rückgewonnenen Komponenten bei der Herstellung von Neulacken) wird von wenigen spezialisierten Recyclingbetrieben angeboten. Hierbei müssen die qualitativen Anforderungen an das Lackkoagulat (z.B. sortenreine Sammlung, nur 1-K-Lackkoagulate) im Einzelfall zwischen Recycler und Lackierbetrieb abgestimmt werden.
- **Rohstoffliche/energetische Verwertung** des Lackkoagulats. Hierzu ist eine Vorbehandlung des Lackschlamms (Trocknung und anschließende Mahlung des erhaltenen Granulats) erforderlich, die von mehreren Entsorgungsfirmen durchgeführt wird. Das Lackgranulat wird im Folgeschritt rohstofflich/energetisch genutzt (z. B. Einsatz im Hochofenprozess, Herstellung von Porosierungsmitteln oder energetische Verwertung).

Kabinenauswaschwasser

Erschöpftes Kabinenauswaschwasser läßt sich aufgrund des hohen Wassergehalts (> 90 %) im allgemeinen nicht verwerten. Um die Wasserphase abzutrennen, wird das Auswaschwasser in der Regel einer internen oder externen chemisch-physikalischen Behandlung (CPB-Anlage) unterzogen.

Verwertung von lackverunreinigten Verdünnern

Für verschmutzte Verdünner aus der Reinigung von lackverunreinigten Gegenständen (Spritzpistolen, Pumpen, Rohrleitungen, etc.) bestehen die gleichen Verwertungsmöglichkeiten wie für Altlösemittel aus der Teilereinigung. Details hierzu finden Sie auf der Seite Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Reinigung > nichthalogenierte Lösemittel > Entsorgung.

Allgemein

Einen umfassenden Überblick von Maßnahmen und Verfahren zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen aus Lackieranlagen und zugehöriger Vorbehandlungsschritte beinhaltet das Branchengutachten "Untersuchung von Lackieranlagen" das im Rahmen des baden-württembergischen Beratungsprogramms zur Reststoffvermeidung und -verwertung erstellt wurde. Praktische Erfahrungen mit verschiedenen Recyclingtechniken zur betriebsinternen Rückgewinnung von Overspray sind in einer Reihe von Projektberichten dargestellt.

Verminderung von Lösemittelemissionen

Für Lackierbetriebe und Betriebe in denen Lackieranlagen betrieben werden sind die Vorgaben der 31. BImSchV (Lösemittelverordnung) zu beachten, die auf der europäischen Lösemittelrichtlinie basiert. Detaillierte Informationen über die Anforderungen erhalten Sie auf der Seite Rechtsgrundlagen > Immissionsschutz > Luftreinhaltung > VOC Emissionen.

Da einige EU-Länder ihre Minderungsziele allein mit den anlagenbezogenen Maßnahmen der Lösemittelrichtlinie nicht erreichen konnten, wurde im April 2004 eine weitere EU-Richtlinie mit produktbezogenen Obergrenzen für den Lösemittelgehalt von Bautenlacken und Autoreparaturlacken beschlossen. Die deutsche Umsetzung ist als ChemVOCFarbV bereits erfolgt. Die praktische Anwendung findet seit Januar 2007 statt.

Für Betriebs- und Hilfsstoffe (z. B. Reiniger, Spachtelmassen und Lacke) legt die ChemVOCFarbV die folgenden Grenzwerte fest:

Tabelle: Grenzwerte für Lackier- und Hilfsstoffe entspr. der ChemVOCFarbV

	Produktkategorie	Beschichtungen	VOC g/l* ab 01.01.2007
a	Vorbereitungs- und Reinigungsprodukte	Vorbereitungsprodukte	850
		Vorreiniger	200
b	Spachtel und Spritzspachtel	Alle Typen	250
c	Grundbeschichtungsstoffe	Füller	540
		Grundbeschichtungsstoffe / Grundierungen	540
		Wash-Primer	780
d	Decklacke	Alle Typen	420
e	Speziallacke	Alle Typen	840

* g/l gebrauchsfertiges Produkt
Zur Bestimmung des VOC-Gehalts ist außer bei der Produktkategorie a) der Wassergehalt des gebrauchsfertigen Produkts abzuziehen.

Quelle: ChemVOCFarbV

Technische Maßnahmen zur Verringerung der VOC Emissionen

Primärmaßnahmen stellen bei der **Nasslackierung** die wirkungsvollste und im Vergleich zu Sekundärmaßnahmen oft auch die kostengünstigere Möglichkeit zur Reduzierung der Lösemittelemissionen dar.

Primärmaßnahmen

- Einsatz lösemittelfreier- oder -armer Lacke:
  - Wasserlacke
  - Festkörperreiche Lacke (High-Solids)
  - Pulverlacke
- Geräte- und Verfahrenstechniken:
  - Verwendung oversprayarmer Applikationsgeräte (z. B. **HVLP**-Spritzpistolen)
  - Objektive Steuerung und Überwachung des Spritzprozesses zur Vermeidung von Überbeschichtungen

Sekundärmaßnahmen

Bei den Sekundärmaßnahmen steht die Beseitigung der emittierten Lösemittel aus der Abluft im Vordergrund. Zur Abscheidung und Rückgewinnung von organischen Lösemitteln aus Abluftströmen stehen prinzipiell folgende Technologien zur Verfügung:

- Adsorption der Lösemittel an Aktivkohle oder anderen oberflächenaktiven Stoffen
- Absorption der Lösemittel in geeigneten Waschflüssigkeiten
- Kondensation der Lösemittel bei niederen Temperaturen

Zur Umwandlung der in der Abluft enthaltenen Lösemittel in umweltverträgliche Stoffe bestehen folgende Maßnahmen:

- Biologische Abluftreinigung mittels Biowäschern
- Thermische und katalytische Nachverbrennung

Die genannten Verfahren (oder Kombinationen aus den genannten Verfahren) werden in erster Linie zur **Reinigung der Abluft** aus Lacktrocknern und automatischen Spritzzonen mit relativ konstanter Lösemittelbeladung eingesetzt. Dabei ist die **thermische Abluftreinigung** aufgrund ihrer universellen Einsetzbarkeit am weitesten verbreitet. Alle anderen Verfahren sind nur beschränkt einsetzbar und erfordern teilweise aufwändige Maßnahmen zur Weiterbehandlung der sorbierten Lösemittel (z. B. Desorption der Aktivkohle bzw. der Waschflüssigkeit).

Prinzip der thermischen Nachverbrennung

Quelle: Eisenmann

Weiterführende Informationen zum Stand der Abluftreinigung beim Nasslackieren beinhaltet das "Jahrbuch für Lackierbetriebe" (siehe Literaturhinweise).

Ein wirksamer bzw. wirtschaftlicher Betrieb läßt sich mit den derzeit verfügbaren Technologien bei niedriger und stark schwankender Lösemittelkonzentration in der Abluft sowie ständig wechselnder Lösemittelzusammensetzung und Ablufttemperatur nicht erreichen. Hier ist die praxisübliche Methode die **Nassauswaschung des Oversprays**, bei der die Lösemittel aber nur zum Teil abgetrennt werden.

Auswahl von Abluftreinigungsanlagen

Bei der Auswahl geeigneter Luftreinhaltungstechniken empfiehlt es sich fachlichen Rat hinzuzuziehen. Falls Sie sich über den **Stand der Technik der Abluftreinigung** selbst informieren wollen, empfehlen sich die VDI-Richtlinien zur Gasreinigung (über die VDI-Richtlinien-Datenbank). Um eine optimale Luftreinhaltungstechnik auszuwählen, sollte man einige Hinweise beachten:

- Scheuen Sie nicht die Kosten für eine gute und sorgfältige Problemanalyse. Diese "Vorarbeiten" sind das Fundament einer technisch und ökonomisch optimalen Problemlösung.
- Vergleichen Sie bei der Angebotsauswahl nicht nur die Anlagenkosten, sondern auch die Material-, Wartungs- und Betriebskosten.

- Um die Qualifikation der Anbieter zu überprüfen, hilft oft nur ein intensiver Dialog. So ist z. B. wichtig, dass der Anbieter den Einsatzort in Augenschein genommen hat. Versichern Sie sich, dass die Techniker die Systemanpassung am Einsatzort sorgfältig ausführen.
- Energiesparende Maßnahmen wie Wärmerückgewinnung oder Umluftbetrieb können eine Amortisationshilfe sein.
- Sorgen Sie dafür, dass Ihre Abluftanlagen (inkl. Rohrleitungen) regelmäßig überwacht und gewartet werden (evtl. Wartungsvertrag). Als Nachweis für die Behörden ist es erforderlich, die Wartungsarbeiten zu dokumentieren. Beim Einbau muss auf Zugänglichkeit und Revisionsöffnungen in Rohrleitungen geachtet werden. Rohrleitungs-, Kanal- und Schlauchsysteme sollten so gestaltet sein, dass Schadstoffansammlungen vermieden werden.

Arbeitsschutz

Beschichtungsstoffe und Lösemittel sind in der Regel als **Gefahrstoffe** eingestuft. Nähere Informationen zum Gefährdungspotenzial und den notwendigen Schutzmaßnahmen können den **Sicherheitsdatenblättern** des jeweiligen Einsatzstoffes entnommen werden. Zu allen in Ihrem Betrieb eingesetzten Stoffen sollten Sie daher aktuelle Sicherheitsdatenblätter vorliegen haben. Diese erhalten Sie bei Ihrem Chemikalienlieferanten.

Vermeidung von Brand- und Explosionsgefahren

Werden **leichtentzündliche oder entzündliche Beschichtungsstoffe** verarbeitet, so gelten die Räume oder Bereiche als feuergefährdet. Hier müssen Zündquellen zuverlässig vermieden werden:

- Generelles Rauchverbot
- Verbot von offenem Feuer oder Licht
- Einsatz von Werkzeugen aus nicht funkenbildendem Material (kein Stahl),
- Einsatz von Elektrowerkzeugen, Leuchten, Fernmeldeeinrichtungen und ähnlichen Hilfsmitteln nur in explosionsgeschützter Bauart

Einzelheiten zum Thema Explosionsschutz werden durch Technische Regel zur Betriebssicherheit festgelegt. Weitere Informationen hierzu finden Sie auf der Seite Rechtsgrundlagen > Betriebs- und Anlagensicherheit > Betriebssicherheit > Explosionsgefährdete Bereiche.

Vermeidung von **Gefahren für die Gesundheit**, insbesondere durch

- Vermeidung von Hautkontakt mit Beschichtungsstoffen und Lösemitteln
- Vermeidung von Einatmen von Beschichtungsstoffen- bzw. Lösemitteldämpfen
- Absaugung der Lösemitteldämpfe an der Entstehungsstelle
- Einsatz von Atemschutzgeräten

Im Hinblick auf den Gesundheitsschutz müssen die **AGW** (Arbeitsplatzgrenzwerte) beachtet werden. AGW sind den Sicherheitsdatenblättern oder der **TRGS 900** zu entnehmen. Die AGW haben die **MAK** und die **TRK** ersetzt (Änderung der Gefahrstoffverordnung seit Dezember 2004). Wenn Arbeitsplatzgrenzwerte nach dem neuen Grenzwertkonzept noch nicht festgelegt sind, können die alten MAK-Werte als Orientierung dienen. Die Einhaltung der Werte muss durch Messungen am Arbeitsplatz regelmäßig überprüft werden.

Im Falle des Überschreitens von Grenzwerten sind Schutzmaßnahmen wie Atemschutz vorzuschreiben oder auch Absaugvorrichtungen einzurichten.

Anforderungen an Lacklager:

Flüssige Beschichtungsstoffe (z. B. Lacke, Lösemittel) müssen in besonderen Räumen gelagert werden (nach **TRbF** 20). Am Arbeitsplatz darf an brennbaren Beschichtungsstoffen maximal der Bedarf einer Arbeitsschicht gelagert werden (Regelung durch BGV D 25).

Wenn mehr als 10.000 l leicht- oder hochentzündliche Flüssigkeiten (F oder F+ gemäß GefStoffV) gelagert werden, ist laut Betriebssicherheitsverordnung **BetrSichV** eine Erlaubnis der zuständigen Behörde erforderlich. Die früheren durch die **VbF** festgelegten Anzeige- und Erlaubnispflichten sind mit dem Inkrafttreten der Betriebssicherheitsverordnung entfallen. Danach war ein Lager z. B. bereits anzeigebedürftig, wenn eine Menge von 450 l hochentzündlicher Flüssigkeiten überschritten wurde.

Die Berufsgenossenschaft hat die wesentlichen Informationen zum "Verarbeiten von Beschichtungsstoffen" (ehemalige BGV D 25 und VBG 23, jetzt BGR 500 Kapitel 2.29) und zu "Lackierräumen und -einrichtungen" (BGI 740 ehemals ZH 1/152) in Form von Broschüren zusammengestellt. Diese Broschüren können über die Medienseite > Meisterbriefe der Berufsgenossenschaft Feinmechanik heruntergeladen werden.

Anforderungen bei elektrostatischer Beschichtung und Pulverlacken

Bei der **elektrostatischen Beschichtung** ergeben sich zusätzliche Gefahrenmomente, die einmal in der Gefährdung der Bedienenden beim Annähern oder Berühren hochspannungsführender oder hochaufgeladener Anlagenteile liegen und zum anderen in der möglichen Explosions- und Brandgefahr der Lösungsmittel bzw. Teilchen-Luft-Gemische (Pulverbeschichtung) durch Funkenentladungen. Bei der elektrostatischen Beschichtung sind insbesondere die **TRBS 2153** und die BGR 155 sowie VDE 0745 (Teil 101, 102, 200) und VDE 0147 (Teil 101 und 102) zu beachten.

Die Berufsgenossenschaftlichen Regen und Informationen können über die Datenbank der BG heruntergeladen werden. Die VDE-Richtlinien können beim VDE bestellt werden.

Pulverlacksysteme

Pulverlacke sind **völlig lösemittelfreie, abfallarme und nahezu emissionsfreie** Lacksysteme. Sie können in die beiden Hauptgruppen der duromeren (duroplastischen) und der thermoplastischen Systeme unterteilt werden, von denen heute die erstgenannten mit Abstand die wichtigeren sind. Duromere Beschichtungspulver werden entweder elektrostatisch (Koronaentladung) oder elektrokinetisch (Reibungsaufladung, Tribo-Verfahren) aufgeladen und nach dem Abscheiden einer thermischen Härtung unterzogen. Dabei wird das Pulver aufgeschmolzen und der verlaufende Lack chemisch ausgehärtet.

Mittlerweile werden aber auch durch UV-Strahlung vernetzbare Systeme angewendet, wobei der Pulverlack zunächst aufgeschmolzen und anschließend sekundenenschnell mittels UV-Lampen ausgehärtet wird. Konventionelle UV-Strahler haben einen hohen Energieverbrauch (UV-Systeme sind aber dennoch **energieeffizienter** als lösemittelhaltige oder wässrige Nasslacksysteme). **Moderne UV-Strahler** sind (begrenzt) regelbar und weisen wesentlich kürzere Einfahrzeiten auf. Bei älteren Anlagen sollte daher eine Umstellung in Erwägung gezogen werden. Je nach Betriebzeiten und Anlagenauslastungen kann der **Stromverbrauch um bis zu 50 % reduziert werden**. Inzwischen wurden auch **UV-emittierende LED-Strahler** entwickelt, die nochmals deutlich energieeffizienter sind. Die Eignung bzw. Anpassung an das jeweilige Lacksystem muss jedoch inm Einzelfall noch untersucht werden. Sprechen Sie hierzu Ihren Anlagenhersteller und den Lacklieferanten an.

Bei **duromeren Pulvern** werden zum größten Teil folgende Systeme eingesetzt:

- Epoxidsysteme
- Polyurethansysteme
- Acrylatsysteme
- Polyestersysteme
- Hybridsysteme (Polyester und Epoxid)

Thermoplastische Pulverlacke werden üblicherweise im Wirbelsinterverfahren verarbeitet und im Trockner nur noch aufgeschmolzen. Hier werden meist viel höhere Schichtdicken erreicht.

Als besondere und noch relativ selten angewandte Variante gibt es die **Beschichtung in flüssiger Form**. Dies geschieht mit dem sogenannten **Pulver-Slurry-Verfahren**. Diese Technik wurde zuerst für Klarlack in der Autoserienlackierung eingesetzt.

Das Pulver ist dabei in Wasser dispergiert, das heißt, die einzelnen Partikel sind im Wasser fein verteilt und werden so auf das Werkstück gesprüht. Anschließend wird das Wasser verdunstet und die verbleibende Pulverschicht eingebrannt.

Abfälle

Beim Pulverlackieren, insbesondere beim elektrostatischen Pulversprühen, kann ebenfalls Overspray entstehen, der aber durch geeignete Kreislaufsysteme **fast vollständig zurückgewonnen** werden kann.

Für eine nach Farben getrennte **Pulver-Rückgewinnung** stehen derzeit drei unterschiedliche Systeme zur Verfügung:

- Wechselfiltersystem (Patronen- oder Plattenfilter)
- Filterbandsystem (umlaufendes Band auf dem Kabinenboden)
- Zyklonsystem (Einzel- oder mehrere Kleinzyklone)

Mögliche Probleme beim Betrieb von Rückgewinnungsanlagen:

- Die Kornverteilung des Beschichtungspulvers verändert sich durch Erhöhung des Feinkornanteils. Dadurch besteht die Gefahr einer verstärkten Agglomerationsneigung, von Aufladungsstörungen sowie eines Abdriftens der Beschichtungsqualität.
- Qualitätsminderung durch Schmutz- und Staubeinschleppung.

Umweltgerechter Einsatz von Hilfsstoffen beim Gleitschleifen

Gleitschleifprozesse (auch Trovalieren genannt) werden zum **Entgraten, Brechen von Kanten, Schleifen und Polieren von mechanisch bearbeiteten Teilen**, vorwiegend kleinerer Schüttgutteile aus der Massenproduktion, eingesetzt. Bezüglich der verarbeitbaren Werkstoffe gibt es keine Einschränkungen, d. h. die Einsatzbereiche reichen von Stählen, Edelstählen über alle Arten von NE-Metallen bis zum Polieren von Edelmetallteilen bei der Schmuckproduktion. Die verwendeten **Hilfsstoffe und Prozessmedien** müssen daher jeweils auf die Anforderungen des Prozesses abgestimmt werden.

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Beim Gleitschleifen werden **zwei Gruppen von Hilfsstoffen** eingesetzt:

- Die **Gleitschleifkörper** (auch Chips genannt), die über die Abrasion den eigentlichen Schleifvorgang bewirken und
- Das **Gleitschleifmedium** (auch Compound genannt) beim Gleitschleifen in wässrigem Medium. Dieses fungiert in erster Linie als Reinigungsmittel, erfüllt aber auch weitere Aufgabenstellungen wie Polieren, Glanzbildung und ggf. das Aufbringen eines temporären Korrosionsschutzes.

Der beim Gleitschleifprozess entstehende feine Abrieb, sowohl der Metallabrieb von den Teilen, als auch Abrieb der Chips, muss aus dem Prozessbehälter ausgeschleust werden. Dies wurde früher mit viel Wasser, oft im Durchlaufverfahren, bewerkstelligt. Der Wasserverbrauch war entsprechend sehr hoch. **Bei den heutigen Anlagen wird die Gleitschleifflüssigkeit im Kreislauf gefahren. Informationen zur Kreislaufführung finden Sie auf der folgenden Seite**.

Bei den **Gleitschleifchips** ist im Wesentlichen zu unterscheiden zwischen keramisch gebundene Chips, die rein aus Keramik bestehen (z. B. Korund, SiC), und organisch gebundenen Chips, bei denen die Schleifkörner in eine organische Matrix (i. A. Kunststoff) eingebunden sind. Aus Umweltsicht sind **Keramikchips zu bevorzugen**, da über diese keine zusätzliche Organik in den Prozess eingebracht wird.

Das **Aufgabenspektrum der Gleitschleif-Compounds** reicht vom Reinigen der zu schleifenden Teile über die Aufnahme des Abriebs bis zur Erzielung bestimmter Oberflächeneigenschaften wie z. B. Glanz oder Korrosionsschutz. **Achten Sie auf möglichst umweltgerechte Compounds**. Hier gibt es erhebliche Unterschiede.

Compounds werden in vielen Varianten, als Pulver oder in flüssiger Form, angeboten. Hauptbestandteile sind in der Regel Tenside, Emulgatoren, Salze, Säure, Laugen und versch. Additive zum Korrosionsschutz und Prozessstabilisierung (z. B. Entschäumer, Enthärter, Biozide). Als Konzentrat sind Compounds häufig als **Gefahrstoff** eingestuft. Hinweise zum richtigen Umgang mit Gefahrstoffen finden Sie im Bereich Metall > Nebenprozesse > Gefahrstoff-Handling sowie die gesetzlichen Vorschriften im Bereich Rechtsgrundlagen > Gefahrstoffe/Gefahrgut. Informationen, welche Inhaltsstoffe im jeweiligen Compound enthalten sind können Sie dem jeweiligen **Sicherheitsdatenblatt** entnehmen. Es enthält auch stoffspezifische Gefahrenhinweise (**R**-Sätze) und Sicherheitshinweise (**S**-Sätze).

Umweltgerechte Compounds wirken sich auch finanziell positiv aus. Ein geringeres Gefahrenpotenzial für Mitarbeiter und Umwelt vereinfacht die Lagerung, den Umgang und die Abwasseraufbereitung bzw. Entsorgung.

Holen Sie sich ggf. bei der Gefahrenbeurteilung neutralen Rat, z. B. von der Berufsgenossenschaft.

Hinweis:

Beim Mattieren oder Polieren von Bunt- oder Edelmetallen z. B. in Schmuck herstellenden Betrieben werden auch wesentlich weichere Gleitschleifkörper, teilweise auch aus natürlichen Rohstoffen (z. B. gebrochene Nussschalen) eingesetzt und **es kann oft trocken, d. h. ohne Compound** gearbeitet werden.

Abfallvermeidung durch Kreislaufführung

Mit einer ausgereiften **Kreislaufführung, umweltgerechten Compounds** und Nutzung der **Verwertungsmöglichkeiten** für Gleitschleifschlämme und der abgenutzten Chips ist das Gleitschleifen ein **umweltfreundliches Bearbeitungsverfahren**.

Voraussetzung dafür ist ein Produktionsprozess, bei dem alle eingesetzten Werkstoffe und Hilfsstoffe aufeinander abgestimmt sind sowie eine fortschrittliche Anlagentechnik. Die wesentlichen Ansatzpunkte hierzu zeigt nachfolgendes Schema.

Grafik: Umweltgerechte Prozessführung beim Gleitschleifprozess

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Abfall- und Abwasservermeidung durch Kreislaufführung

Gegenüber einer Chargenbehandlung ohne Medienrückführung lässt sich die **Abwassermenge** mit geeigneter Kreislauftechnik um **mindestens 90 % reduzieren**. Um das Gleitschleifmedium mit entsprechend langer Standzeit im Kreislauf fahren zu können müssen die eingetragenen Verunreinigungen möglichst kontinuierlich aus dem Prozess ausgeschleust werden. Dies betrifft in erster Linie den Feststoffanteil, d. h. der Abrieb der Schleifkörper und die von den Teilen abgetragenen Metallpartikel. Hierzu stehen folgende Verfahren zur Auswahl:

Tabelle: Vor- und Nachteile von Verfahren zur Abtrennung von Festkörpern

Verfahren	Vorteile	Nachteile
Absetzbecken	Sehr geringer Invest, sehr geringer Energiebedarf	Sehr feuchter Schlamm, großer Platzbedarf, schlechte Reinigungswirkung, kurze Standzeiten (wenige Wochen)
Bandfilter	Niedriger Invest, geringer Energiebedarf	Sehr feuchter Schlamm, mäßige Reinigungswirkung, kurze Standzeiten
Lamellenschrägklärer	Schlamm mit akzeptabler Restfeuchte, gute Reinigungswirkung, geringer Energiebedarf, gute Standzeiten	Hoher Invest
Reinigungszentrifuge	Schlamm mit geringer Restfeuchte, sehr gute Reinigungswirkung, sehr gute Standzeiten (3 - 12 Monate), geringer Platzbedarf	Hoher Invest, hoher Energiebedarf

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Bild: Reinigungszentrifuge für Gleitschleifwässer

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

In der Praxis haben sich **Reinigungszentrifugen** wegen ihrer sehr guten Reinigungsergebnisse und der kompakten Anlagenbauform durchgesetzt. Sie werden von verschiedenen Anlagenherstellern angeboten, die oft auch als Systemlieferanten auftreten (Gleitschleifanlagen, Chips, Compound, Kreislaufanlagen).

Hinweis:
Ein wesentlicher Aspekt für die Erzielung **langer Standzeiten** sind auch die Einträge von Organik, insbesondere Öle auf den zu behandelnden Teilen. Achten Sie daher auf möglichst ölfreie Teile. Generell gilt: Je weniger Organik in den Prozess eingetragen wird, desto besser ist die Standzeit des Gleitschleifmediums. In dieser Hinsicht sind organisch gebundene Chips im Nachteil.

Verwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten von Abfällen aus Gleitschleifprozessen

Aus Gleitschleifprozessen fallen im Wesentlichen **folgende Abfallarten** an:

- Verbrauchte, d. h. zu klein oder unscharf gewordene Chips
- Gleitschleifschlamm, bestehend aus Chip- und Metallabrieb
- Gleitschleifmedium
- Ölschlamm aus der Badpflege des Gleitschleifmediums (wird selten angewendet)

Verbrauchte Chips

Je nach Zusammensetzung können die verbrauchten Chips **zu neuen Schleifkörpern aufgearbeitet oder in der Baustoffindustrie** verwertet werden. Auch hier sind organisch gebundene Chips im Nachteil, da der Organikanteil stört. Konkrete Verwertungsmöglichkeiten erfragen Sie am Besten bei Ihrem Chiplieferanten. Diese bieten teilweise auch eine **Rücknahmemöglichkeit** an. In der Praxis bewährt haben sich auch Fahrweisen mit einer Mischung aus neuen und teilweise abgenutzten Chips. Bei konstanten Prozessbedingungen werden so die Chips **vollständig aufgebraucht**, so dass gar keine Altchips anfallen.

Gleitschleifschlämme

Sie resultieren als Gemisch aus Schleifkörperabrieb und feinen Metallspänen. **Der Metallanteil ist dabei in der Regel von untergeordneter Bedeutung** (< 10 %), so dass nur bei der Bearbeitung von Edelmetallen und einigen Schwermetallen (z. B. Molybdän, Hartmetall) eine Rückgewinnung in Frage kommt. Etabliert haben sich **Verwertungsmöglichkeiten in der Baustoffindustrie**. Störend sind dabei organische Anteile sowie ein zu hoher Feuchtegehalt (d. h. Gehalt an ausgeschlepptem Compound). **Der Schlamm sollte also möglichst trocken sein**. Konkrete Verwertungsmöglichkeiten erfragen Sie auch hierfür am Besten bei Ihrem Chip- oder Anlagenlieferanten.

Bild: „Trockener“ Gleitschleifschlamm aus einer Zentrifuge

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Zu entsorgende Gleitschleifschlämme sind in der Regel **gefährlicher Abfall (Sonderabfall)** und sollten gemäß Abfallverzeichnis Verordnung **AVV** folgenden Abfallschlüsseln zugeordnet werden:

12 01 14* Bearbeitungsschlämme die gefährliche Stoffe enthalten

12 01 15 Bearbeitungsschlämme mit Ausnahme derjenigen, die unter 12 01 14 fallen

Gleitschleifmedium

Unbrauchbar wird das Gleitschleifwasser in der Regel durch über die Teile eingetragene Verunreinigungen (insbesondere Öle) sowie durch den Feinanteil des Abriebs. Wie beschrieben kann die Badstandzeit bei guten Badpflegemaßnahmen auf mehrere Monate erhöht werden. Verworfenes Gleitschleifwasser kann in einer **betrieblichen Abwasseranlage** (siehe: Metall > Nebenprozesse > Abwasserbehandlung) behandelt werden. Andernfalls muss es als **gefährlicher Abfall (Sonderabfall)** entsorgt und in einer zentralen Anlage (**CPB**) chemisch physikalisch behandelt werden.

Ölschlamm aus der Badpflege

Werden verölte Teile geschliffen, so werden **Fremdöle** in das Gleitschleifmedium eingetragen, die die Badstandzeit erheblich verkürzen können. **Nach Möglichkeit sollten Fremdöleinträge vermieden** werden. Erforderlichenfalls ist eine vorherige Teilereinigung (Metall > Produktionsverfahren > Reinigen) sinnvoll. Andernfalls ist eine Entfernung der bei ruhigem Bad aufschwimmenden Ölphase, z. B. über eine Absaugvorrichtung oder einen Skimmer ratsam. **Die dabei abgeschöpfte Ölphase kann als Altöl entsorgt** und in der Regel (nicht zu hoher Wassergehalt) einer energetischen Verwertung zugeführt werden.

Umweltrelevanz von Nebenprozessen

In den meisten metallverarbeitenden Betrieben werden ergänzend zu den primären Produktionsprozessen auch Nebenprozesse benötigt. Diese sichern im Wesentlichen die **Ver- und Entsorgung von Prozesshilfsmitteln** (z. B. Prozesswasser), was auch deren Kreislaufführung, eine eventuelle innerbetriebliche Behandlung (z. B. Abwasserbehandlung; Emulsionsspaltung) sowie die Lagerung und Bereitstellung zur Entsorgung beinhaltet.

Bild: Gesichertes Gefahrstofflager für Prozesschemikalien

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Viele der bei metallverarbeitenden Prozessen benötigten Hilfsstoffe und Prozesschemikalien sind als **Gefahrstoffe** eingestuft. Bei Lagerung, Handling und Entsorgung sind daher zum Umwelt- und Arbeitsschutz die entsprechenden rechtlichen Regelungen zu beachten. Die in diesen Bereichen anfallenden **Kosten können erheblich sein**. Meist werden sie aber nicht verursacherbezogen erfasst und gehen in der Praxis in einen Gemeinkostenblock ein. Eine prozessspezifische Zuordnung hilft Ansatzpunkte zur Kostenreduzierung zu identifizieren.

Abfallmanagement

Je nach Produktionsumfang und dem Spektrum der Produktionsprozesse fallen metallbearbeitenden Betrieben unterschiedliche Abfälle an. Bei der **spanenden Bearbeitung** sind dies im Wesentlichen die Metallabfälle (z. B. Späne, Stanzabfälle usw.), verbrauchte **Kühlschmierstoffe (KSS)**, ölhaltige Schleifschlämme und Späne. Bei **Lackierprozessen** fallen Lackschlämme, Filtermaterialien und Schlämme aus Reinigungsprozessen an. Diese Abfälle können teilweise vermieden oder verwertet werden, ansonsten sind sie ordnungsgemäß zu beseitigen.

Die wesentlichen **Aufgaben des Abfallmanagements** bestehen darin, von Abfällen ausgehende **Umweltrisiken zu minimieren**, sowie Abfälle nach Möglichkeit zu vermeiden oder unweltverträglich und möglichst kostengünstig zu entsorgen.

Um diese Aufgabe zu erfüllen benötigt man Informationen über:

- die Entstehungsprozesse der Abfälle. Mit diesen Informationen lassen sich Vermeidungsmöglichkeiten identifizieren. Hinweise zur Vermeidung finden Sie in den Bereichen Metallbearbeitung > Produktionsverfahren und Metallbearbeitung > Einsatzstoffe.
- Art, Menge und Zusammensetzung der Abfälle: Diese Informationen sind erforderlich um Verwertungsmöglichkeiten prüfen zu können und eine ordnungsgemäße Lagerung und **Entsorgung** zu gewährleisten.

Für die Zusammenfassung dieser Informationen eignet sich eine Abfallbilanz - sie gibt einen guten Überblick über alle betrieblich anfallenden Abfallarten mit ihren Entsorgungswegen. Über ein regelmäßiges Monitoring können zudem Sollabweichungen, z. B. eine Erhöhung der Abfallmengen oder eine Veränderung der Abfallqualität, schnell erkannt und Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

Abfälle sind grundsätzlich getrennt zu erfassen, zum einen um eine ordnungsgemäße Entsorgung zu gewährleisten, zum anderen um Verwertungswege offen zu halten.

Beispiel:

KSS-Öle und KSS-Emulsionen müssen getrennt erfasst und gelagert werden. Verbrauchte KSS-Öle können in der Regel direkt einer Aufarbeitung (z. B. in einer Zweitölraffinerie) zugeführt werden. KSS-Emulsionen müssen dagegen in einer **Emulsionsspaltanlage** in eine Wasserphase und in das ölhaltige Konzentrat aufgetrennt werden. Dies kann sowohl innerbetrieblich (in der Regel erst ab Mengen über 100 m³/a wirtschaftlich), als auch extern bei einem Entsorger erfolgen.

Eine innerbetriebliche (Vor)Behandlung von Abfällen ist dann sinnvoll, wenn sie eine Verwertung verbessert oder ermöglicht, die Transportfähigkeit verbessert oder Entsorgungsmengen und -kosten senkt.

Beispiele:

Metallspäne und Schleifschlämme können grundsätzlich in der Sekundärmetallurgie verwertet werden. Da hierzu ein geringer Ölgehalt vorteilhaft ist, ist eine Vorbehandlungzur Entfernung abtrennbarer Ölanteile oft sinnvoll, z. B. durch Schleudern oder Abpressen (Näheres unter Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Schleifschlämme > Vermeidung). Durch die Rückführung wieder einsetzbarer KSS kann dies schon bei einem Schleifschlammaufkommen von rund 10 t/a wirtschaftlich sein.

Lackschlämme können teilweise wiederaufbereitet oder thermisch verwertet werden. Hierbei sind geringe Wassergehalte, z. B. durch Trocknung, vorteilhaft. Verwertungsmöglichkeiten für Lackschlämme finden Sie auch auf der Seite Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Beschichtungsstoffe > Verwertung.

Organische Lösemittel können betriebsintern oder extern redestilliert und wieder eingesetzt werden. Interne Anlagen sind erst bei sehr großen Anfallmengen wirtschaftlich. Aufarbeitungs- und Verwertungsmöglichkeiten für Lösemittel finden Sie auch auf der Seite Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Reinigung > nicht halogenierte Lösemittel > Entsorgung

Innerbetrieblicher Umgang mit Abfällen

In den meisten metallverarbeitenden Betrieben besteht der Hauptteil der anfallenden Abfälle aus Metallen, wie Späne, Stanzabschnitte, Halbzeugreste usw. Diese weisen, gerade angesichts stark gestiegener Rohstoffpreise, durchaus interessante Schrottwerte auf, insbesondere im Falle von NE-Metallen und hochlegierten Stählen. Die richtige Erfassung betrieblicher Abfälle beinhaltet somit neben ökologischen Aspekten auch ein finanzielles Potenzial.

Tipp: Die getrennte Abfallerfassung kann auch finanziell interessant sein. So erzielen z. B. nach Werkstoffen sortierte Metallabfälle (Späne, Stanzabschnitte usw.) wesentlich höhere Schrottpreise als Mischabfälle.

Foto: Werkstoffspezifische Erfassung von Metallabfällen in Kleinbetrieben

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Insbesondere von gefährlichen Abfällen (Sonderabfällen), wie z. B. Kühlschmierstoffen gehen aber auch Gefahren für die Umwelt und den Menschen aus. Daher sind beim Umgang mit Abfällen, Maßnahmen zu treffen, die diese umwelt- und personenbezogenen Risiken weitgehend ausschließen.

Vermeidung von Gefährdungen durch Abfälle

Hierzu zählen insbesondere die folgenden Maßnahmen:

- Abfälle sind in geeigneten Behältern nahe der Anfallstelle getrennt nach Abfallart gemäß Abfallverzeichnisverordnung (**AVV**) zu sammeln.
- Die Behälter müssen eindeutig bezeichnet sein, um eine Vermischung oder Verunreinigung von Abfällen zu vermeiden.
- Die Arbeitnehmer müssen hinsichtlich der Getrennthaltung und der Arbeitssicherheit (z. B. Schutzausrüstung) unterwiesen werden.
- Die Behälter müssen für den jeweiligen Abfall geeignet sein, z. B. muss bei ölhaltigen Spänen sichergestellt sein, dass kein Kühlschmierstoff auslaufen kann.
- Abfälle müssen zeitnah entsorgt werden
- Für jeden Abfall sind die Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung zu prüfen.

Kennzeichnung gefährlicher Abfälle

Abfälle von denen Gefahren gemäß der Gefahrstoffverordnung (GefStV) ausgehen sind entsprechend den Vorgaben des Chemikalienrechts zu kennzeichnen. Details sind in der TRGS 201 geregelt. Gefährliche Abfälle im Sinne des Gefahrstoffrechts sind solche, die aus Gefahrstoffen entstanden sind (z. B. verbrauchte Lösemittel) oder Abfälle, die mit Gefahrstoffen verunreinigt sind (z. B. Aufsaugmassen).

Die Kennzeichnung besteht aus der Bezeichnung des Abfalls, entsprechend der AVV, den Gefahrensymbolen, der Gefahrenbezeichnung und den Hinweisen auf besondere Gefahren (R-Sätze/H-Sätze), auf deren Angabe aber auch verzichtet werden kann. Die gefahrstoffrechtlichen Symbole können bei Behältertransporten (z. B. Fässern) Versandstücken im Sinne des Gefahrguttransportrechts durch die jeweils passenden Gefahrzettel ersetzt werden.

Entsprechend der vorhandenen Gefahren sind die Mitarbeiter zu unterweisen und entsprechende Vorkehrungen zum Arbeitsschutz zu ergreifen.

Angaben zur sachgerechten Entsorgung von verbrauchten Gefahrstoffen finden Sie auch auf dem jeweiligen **Sicherheitsdatenblatt**.

Weitere Hinweise zu Umgang und Entsorgung von gefährlichen Abfällen (Sonderabfällen) finden Sie auf der Seite Wichtig für alle Branchen > gefährliche Abfälle

Abfälle sind im Wesentlich verunreinigte Roh- oder Hilfsstoffe mit prozessspezifischen Verunreinigungen. Für den Umgang mit und die Lagerung von Abfällen im Betrieb gelten daher grundsätzlich die selben Regeln (z.B. Arbeitsschutz und Chemikalienrecht) wie für die Roh- und Hilfsstoffe, aus denen sie entstanden sind.

Lagerung von Abfällen

Die Lagerung von Abfällen im Betrieb sollte möglichst nur über den kurzen Zeitraum von der **Bereitstellung bis zur Abholung** durch den Entsorger erfolgen. Eine längerfristige Zwischenlagerung von Abfällen bedarf ggf. zusätzlicher Genehmigungen. Der Abholrhythmus wird daher in Absprache mit dem Entsorger festgelegt. Im Allgemeinen sollte der Abfall abgeholt werden, wenn ein Abfallcontainer voll ist.

Haushaltsübliche **Kleinmengen** von nicht gefährlichen Abfällen, z. B. aus handwerklichen Betrieben, können direkt über kommunale Sammelstellen entsorgt werden. Eine Übersicht zu vereinfachten Entsorgungsmöglichkeiten von kleinen Mengen an gefährlichen Abfällen finden Sie auf der Seite Wichtig für alle Branchen > gefährliche Abfälle > Kleinmengen

Die Einrichtungen zur Lagerung von Abfällen sind, ebenso wie bei Neuprodukten, am möglichen **Gefährdungspotenzial**, das vom jeweiligen Abfall ausgeht, auszurichten. Jeder Abfall muss daher entsprechend der von ihm ausgehenden Gefahren klassifiziert werden (z. B. Wassergefährdung, Brennbarkeit, Giftigkeit). Die Anforderungen an den Lagerort und die Behälter richten sich dann nach den entsprechenden Vorschriften:

- Bei **wassergefährdenden Stoffen** können Auffangwannen oder Absicherungen des Bodens gemäß **VAwS** erforderlich werden, wassergefährdend sind z. B. alle ölhaltigen Abfälle
- Bei brennbaren oder explosionsgefährlichen Stoffe sind Brandschutzmaßnahmen vorzusehen (**TRbF**), brennbar sind z. B. alle organischen Lösemittel sowie KSS-Öle.
- Bei giftigen Stoffen sind Be- und Entlüftungsmaßnahmen erforderlich (**GefStV**), giftig sind z. B. lösemittelhaltige Lacke oder Härtesalze.

Hinweise zu den Schutzmaßnahmen finden Sie in den **Sicherheitsdatenblättern** der Ausgangsstoffe. Weiterhin ist zu beachten, dass Lager für gefährliche Stoffe ab einer bestimmten Menge einer besonderen Genehmigung bedürfen.

Fallen nur kleine Mengen an flüssigen Stoffen, z. B. Lösemittel, Öle oder Lacke an, so können sie in den leeren Originalbehältern zwischengelagert werden. Es empfiehlt sich jedoch, diese Behälter in eine Auffangwanne zu stellen, in der sie dann auch befüllt werden sollten, um ein versehentliches Austreten oder Verschütten von Flüssigkeiten zu vermeiden.

Ergänzend sollte durch Warnhinweise sichergestellt werden, dass keine Beschädigung der Behälter, z. B. durch Gabelstapler, erfolgen kann.

Ölhaltige Schleifschlämme und Späne sollten in dichten Behältern gelagert und in eine Auffangwanne gestellt werden, um den Austritt von Kühlschmierstoffen zu vermeiden. Bei Ölgehalten von über 20 % kann eine Vorbehandlung durch Schleudern oder Abpressen (Näheres siehe: Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Spanend > Schleifen > Vermeidung) das Risiko von auslaufenden Ölen bei der Lagerung vermeiden. Zudem kann das abgetrennte KSS-Öl oft wieder in den KSS-Kreislauf zurückgeführt werden.

Bilder: Links: Aus ölhaltigen Schleifschlämmen im Lagerkontainer ausgetretenes KSS-Öl
Rechts: Abgepresste Schleifschlämme, bei denen kein KSS-Öl mehr austritt

Quelle: Fa. GETRAG, Ludwigsburg

Abfälle müssen getrennt gehalten werden

Die Abfälle sind entsprechend der abfallrechtlichen Vorgaben getrennt nach Abfallart zu lagern, eine Vermischung unterschiedlicher Abfälle ist nicht zulässig. Die Behälter sind jeweils hinsichtlich der Abfallart und der möglichen Gefährdung eindeutig zu kennzeichnen. Für den Umgang mit den verschiedenen Abfällen sind Arbeitsanweisungen zu erstellen und die Mitarbeiter, die die Behälter befüllen sind entsprechend zu unterweisen.

Weiterhin ist zu beachten, dass die Behälter, in denen Abfälle gelagert werden, z. B. Container, auch für den Transport geeignet sein müssen. In der Regel werden geeignete Behälter vom Entsorgungsunternehmen gestellt.

Bild: Getrennte Erfassung von betrieblichen Abfällen

Quelle: ABAG-itm,Pforzheim

Abwasserbehandlung

In den meisten metallverarbeitenden Betrieben fallen aus den Produktionsbereichen Abwasser, das ohne vorherige Behandlung nicht in die Kanalisation eingeleitet werden kann oder wässrige Abfälle an. Die **wesentlichen abwasserrelevanten Herkunftsbereiche** sind:

- Verbrauchte wassergemischte Kühlschmierstoffe (KSS-Emulsionen und KSS-Lösungen), oder Abwasser aus der Aufarbeitung von Kühlschmierstoffen, z. B. durch **Emulsionsspaltung**
- Abwässer aus der Entfettung/Teilereinigung mit wässrigen Reinigern (verbrauchte Reinigungs- und Spülbäder)
- Abwässer aus Gleitschleifprozessen
- Abwässer aus dem Lackierbereich, wenn Nassabscheider eingesetzt werden
- Abwässer aus Reinigungsprozessen, z.B. Werkstatt- und Maschinenreinigung, Bodenreinigung
- Spülprozesse nach Oberflächenbehandlungsverfahren wie z. B. Härten, Brünieren usw.

Bevor Sie sich mit möglichen Abwasserbehandlungsverfahren befassen sollten Sie sich

1. einen Überblick über die für metallverarbeitende Betriebe geltenden wasserrechtlichen Regelungen verschaffen,
2. die gegebenenfalls aus verschiedenen Prozessen anfallenden **Abwasserteilströme mit ihren Mengen und den enthaltenen Schadstoffen (Abwasserkataster) zusammenstellen** und
3. die Möglichkeiten zur **Abwasser- und Schadstoffreduzierung** durch **prozessintegrierte Maßnahmen** ausschöpfen.

Um Fehlinvestitionen zu vermeiden, sollte man bei der Planung von Abwasserbehandlungsanlagen frühzeitig Kontakt mit dem Landratsamt oder Bürgermeisteramt (untere Wasserbehörde, Gewerbeaufsicht) aufnehmen und sicherstellen, dass die gültigen gesetzlichen Anforderungen berücksichtigt werden.

Für die **Einleitung von Abwasser** in die öffentliche Kanalisation kann gemäß § 58 **WHG** eine **Genehmigung** erforderlich sein. Dies trifft zu, wenn das Abwasser aus einem durch die **AbwV** genannten **Herkunftsbereich** stammt und für diesen Herkunftsbereich Anforderungen an das Abwasser vor Vermischung oder für den Ort des Anfalls festgelegt sind. Betriebe der Metallbe- und -verarbeitung sind als Herkunftsbereich in der AbwV aufgeführt (**Anhang 40**), weshalb ein Genehmigungserfordernis für die Einleitung von Abwasser in die Kanalisation bestehen kann. Näheres zu der Genehmigungspflicht kann auf der Seite Rechtsgrundlagen > Gewässerschutz > Aufbau und Struktur > Genehmigung nachgelesen werden.

Anhang 40 der Abwasserverordnung AbwV

Der **Anhang 40** der AbwV beinhaltet die **Anforderungen für genehmigungspflichtige Einleitungen von Abwässern** in die öffentliche Kanalisation oder ein Gewässer. Die Anforderungen werden von der Genehmigungsbehörde in den Genehmigungsbescheid aufgenommen und dadurch für den Betrieb verbindlich.

Der Anhang 40 spezifiziert, neben allgemeinen Vorgaben, für insgesamt zwölf Bereiche konkrete Anforderungen an die Abwasserqualität in Form von **Grenzwerten**. Dabei wird zwischen Abwässern aus folgenden Bereichen unterschieden: Galvaniken, Beizereien, Anodisierbetriebe, Brüniereien, Feuerverzinkereien, Feuerverzinnerein, Härtereien, Leiterplattenherstellung, Batterieherstellung, Emaillierbetriebe, Mechanische Werkstätten, Gleitschleifereien, Lackierbetriebe. In tabellarischen Aufstellungen werden für die jeweils zu erwartenden Schadstoffe Grenzwerte angegeben und zwar sowohl für **Indirekteinleiter**, d. h. Betriebe die ihr Abwasser in das örtliche Kanalisationsnetz einleiten, als auch für **Direkteinleiter**, d. h. Betriebe, die ihr Abwasser direkt in ein Gewässer einleiten dürfen. Letzteres wird in der Praxis eher der Ausnahmefall sein.

Das Gebot des Vermeidens und Verringerns gilt für Abfälle und Abwässer gleichermaßen. Vor Überlegungen bezüglich irgendwelcher Abwasserbehandlungsmaßnahmen sollten Sie daher unbedingt die Möglichkeiten sowohl der Mengen- als auch der Schadstoffreduzierung überprüfen.

Schadstoffbelastete Abwässer stammen im Wesentlichen aus zwei Quellen:

1. aus **verworfenen Prozessbädern**
2. aus **Reinigungs- und Spülsystemen**, die vorwiegend durch eingetragene Verschmutzungen und verschleppte Prozessmedien belastet werden.

Generell ist die Schadstofffracht in den Abwässern so gering wie möglich zu halten. Vorrangig sollten Sie daher Maßnahmen ergreifen um:

- die **Standzeiten Ihrer Prozessbäder** mit standzeitverlängernden Maßnahmen zu optimieren, z. B. bei Kühlschmierstoffen (Näheres siehe Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > KSS > Emulsionen > Vermeidung) oder wässrigen Reinigern (Näheres siehe Metall > Einsatzstoffe > Reinigen > wässrig > Vermeidung),
- die **Verschleppungen aus Prozessbädern** (und damit auch die Austragsverluste) so weit wie möglich zu reduzieren. Entsprechende Maßnahmen finden Sie in den jeweiligen Rubriken zur Abfallvermeidung bei den Einsatzstoffen,
- eine weitgehende **Rückführung nicht vermeidbarer Austragsverluste** zu gewährleisten, z. B. durch **Kaskadenschaltungen** bei Spülprozessen.

Mit diesen **prozessintegrierten Maßnahmen** können Sie sowohl die Abwassermenge als auch den Behandlungsaufwand reduzieren. Erst wenn die damit verbundenen Möglichkeiten ausgeschöpft sind, sollten Sie sich mit den Behandlungsmöglichkeiten der verbleibenden Abwassermengen befassen. Allgemeine Anforderungen zu abwasser- und schadstoffreduzierenden Maßnahmen sind auch im Teil B des Anhang 40 formuliert.

Kommunale Abwassersatzung

Zusätzlich zu den Vorgaben eines möglicherweise vorliegenden Genehmigungsbescheides werden in der jeweiligen **kommunalen Abwassersatzung** für die Einleitung von Abwasser in die Kanalisation weitere Anforderungen definiert. **Diese können von Kommune zu Kommune variieren** und richten sich nach den Reinigungsstufen der örtlichen Kläranlage sowie den zu erwartenden Abwasserteilströmen. Neben konkreten Grenzwerten für Schadstoffe werden meistens Obergrenzen für Parameter wie **pH**-Wert, Temperatur oder absetzbare Stoffe vorgegeben.

Tabelle: Typische Auswahl von Grenzwerten kommunaler Abwassersatzungen

Abwasserparameter	Grenzwert *
Temperatur	35°C
pH-Wert	6,5 bis 10,0
absetzbare Stoffe	10 ml/l
Kohlenwasserstoffe	20 mg/l
Stickstoff aus Ammonium und Ammoniak	100 mg/l
Sulfat	600 mg/l
Lösemittel (mit Wasser ganz oder teilweise mischbar und biologisch abbaubar), z.B. Ethanol	2 g/l

* Die Werte können von Kommune zu Kommune variieren

Quelle: Zusammenstellung durch ABAG-itm, Pforzheim aus versch. Quellen

Die kommunale Abwassersatzung tangiert jeden Produktionsbetrieb unmittelbar. Sie sollte daher in jedem Betrieb vorliegen und kann beim Bürgermeisteramt, Umweltamt oder Landratsamt angefordert werden.

Eigenkontrollverordnung

Betriebe, die industrielles Abwasser (oder häusliches Abwasser > 8 m^3/d) einleiten, müssen die **Einhaltung der rechtlichen Einleitbedingungen in eigener Verantwortung kontrollieren**. Die dafür erforderlichen Maßnahmen (Prüfungen, Untersuchungen, Messungen und Auswertungen) sowie die erforderlichen Kontrolleinrichtungen und Geräte sind in den Anhängen der Eigenkontrollverordnung – **EKVO** des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg festgelegt. **Für Industriebetriebe gilt der Anhang 2.** Die gemessenen Werte sind zu dokumentieren und der Wasserbehörde (Landratsamt, Bürgermeisteramt) auf Verlangen vorzuzeigen.

Die Eigenkontrollverordnung beinhaltet auch eine **Zustandskontroll- und Überprüfungspflicht der betrieblichen Abwasserkanäle** und -leitungen auf Dichtigkeit und Schadensfreiheit. Bei Industriebetrieben liegen die Wiederholungsfristen für die Kontrolle nicht einsehbarer Abwasserkanäle vor dem Endkontrollschacht bei 5 Jahren und nach dem Endkontrollschacht bei 10 Jahren. Die Erstprüfung hatte in der Regel bis Ende 1999 zu erfolgen. Die Wasserbehörde kann von den Bestimmungen der Verordnung im Einzelfall Ausnahmen für Betriebe zulassen , die nach der EG-Öko-Audit-Verordnung eingetragen sind. Bei diesen Betrieben geht man davon aus, dass eine vergleichbare Eigenkontrolle gewährleistet ist. Seit der zum 1. März 2010 in Kraft getretenen Neufassung des Wasserhaushaltsgesetzes sind Regelungen des Bundes zur Selbstüberwachung bei Abwassereinleitungen und Abwasseranlagen möglich. Eine entsprechende Verordnung der Bundesregierung liegt noch nicht vor. Bis zum Inkrafttreten einer Bundesregelung gilt das jeweilige Landesrecht weiter.

Herkunftsbereiche und Entstehungsprozesse von industriellem Abwasser

Aus verschiedenen in der Metallbe- und -verarbeitung eingesetzten Prozessen können **belastete Abwässer** resultieren, entweder **direkt** (z. B. aus Reinigungs- oder Spülprozessen) oder **indirekt** (z. B. aus Behandlungsanlagen für verbrauchte Prozessmedien oder -bäder wie KSS-Emulsionen oder wässrige Reiniger). In der nachfolgenden Grafik sind die Zusammenhänge zwischen der Abwasserentstehung aus Bearbeitungs- oder Hilfsstoffen sowie aus Spülsystemen schematisch dargestellt. Aus **Abwasserbehandlungsanlagen** resultieren ein Abwasserstrom (der in der Regel in die Kanalisation eingeleitet werden kann) sowie, je nach Behandlungsverfahren, Abfälle, z. B. Abwasserbehandlungsschlämme oder Konzentrate. Diese sind in der Regel als **gefährliche Abfälle** (Sonderabfälle) eingestuft.

Grafik: Zusammenhänge der Abfall- und Abwasserentstehung bei metallbearbeitenden Prozessen

Quelle: ABAG-itm-Grafik in Anlehnung an Taschenbuch der Abwassertechnik

Die wesentlichen abwasserrelevanten Produktionsprozesse sind

- Bearbeitung unter Einsatz von Kühlschmierstoffen, insbesondere von **KSS-Emulsionen** (vorwiegend organisch belastet)
- Gleitschleifprozesse (überwiegend organisch belastet und Feststoffe enthaltend)
- Teilereinigung mit wässrigen Reinigern (z. B. Entfettung, überwiegend ölbelastet)
- Werkstatt- und Bodenreinigung (Feststoffe, Öle)
- Nassabscheider zur Abluftreinigung aus Lackieranlagen (überwiegend Lackpartikel und Lösemittel)

In der Regel müssen die Abwässer aus dem Produktionsbereich vor einer Einleitung in das öffentliche Kanalisationsnetz einer Vorbehandlung (Abwasserbehandlung) unterzogen werden. Bezüglich einer **geeigneten Abwasserbehandlungsanlage** ist es wichtig, sich bereits im Vorfeld zu informieren, welche abwasserbelastenden Schadstoffe in den jeweiligen Teilströmen (verworfene Prozessbäder oder aus Verschleppungen resultierende Abwässer) enthalten sein können. Zuerst sollten Sie aber die Möglichkeiten der Abwasser- und Schadstoffreduzierung ausschöpfen, da bei sinkenden Mengen eine externe Behandlung bei einem Entsorger kostengünstiger sein kann. Maßnahmen zur Mengenreduzierung finden sie auf der nächsten Seite. Verschaffen Sie sich darüber hinaus eine **Übersicht**, welche Abwassermengen mit welchen Inhaltsstoffen aus den betreffenden Prozessen anfallen (Abwasserkataster). Die in den jeweiligen Prozessen eingesetzten Betriebs- und Hilfsstoffe sowie zu erwartende Fremdstoffeinträge liefern Ihnen Hinweise auf die zu entfernenden Schadstoffe. Eine **Abwasseranalyse** (Auskünfte über den erforderlichen Umfang und zu geeigneten örtlichen Labors erhalten Sie bei der Gewerbeaufsicht) bildet die Grundlage für die Auswahl eines geeigneten Abwasserbehandlungsverfahrens. Wenn Sie bereits einen Anlagenhersteller im Auge haben, dann sollten Sie diesen bei der Analyse und ggf. Vorversuchen einbeziehen. So lässt sich der Zusatzaufwand für weitere Analysen häufig vermeiden.

In der nachfolgenden Tabelle sind die wichtigsten Prozesse, aus denen Abwässer entstehen können, die gängigen Prozessstoffe und die daraus häufig resultierenden Schadstoffe im Abwasser aufgeführt. Ergänzend werden beispielhaft Verfahren zur Abwasserbehandlung benannt.

Tabelle: Abwasserrelevante Prozesse und bedeutende Schadstoffe

Prozesse	Einsatzstoffe	häufig vorkommende Schadstoffe und Abwasserkenngrößen	Abwasserbehandlungs-verfahren (beispielhaft)
Spanende Bearbeitung mit **KSS-Emulsionen**	Emulgatoren, Kohlenwasserstoffe, Korrosionsinhibitoren, versch. Salze, Biozide	**pH**-Wert ca. 9, emulgierte Öle, gelöste Schwermetalle, versch. Salze, Feststoffe	Emulsionsspaltung durch Ultrafiltration, Vakuumeindampfung, org. Spaltmittel
Gleitschleifen	Compounds (Tenside u.a.), Emulgatoren, versch. Salze	emulgierte Öle, gelöste Schwermetalle, Komplexbildner, versch. Salze, Feststoffe	Fällungsverfahren, chemische Emulsionsspaltung
Entfetten, Reinigen mit wässrigen Medien	Alkalien, Tenside	pH-Wert > 9 , < 5 Öl, Fett, Schmutz, gelöste Schwermetalle, Komplexbildner (z.B. **EDTA**)	Neutralisation, **Ultrafiltration**, chemische **Emulsionsspaltung**
Beizen, Phosphatieren Ätzen, Polieren Dekapieren	Säuren (z.B. Flußsäure, Phosphorsäure, Chromsäure), Laugen (z.B. NaOH, Phosphate)	Schwermetalle (je nach bearbeitetem Werkstoff), pH-Wert < 5 (sauer), pH-Wert > 9 (basisch), Phosphat, Fluorid, Cr^{6+}	Ionenaustauscher, Neutralisation, Fällung, z.B. mit $Ca(OH)_2$, Filtration Endaustauscher (nachgeschalteter Kationenaustauscher)

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Praktische Hinweise zur Vermeidung von Abwässern und Abfällen aus Abwasserbehandlungsanlagen

Das **Gebot des Vermeidens und Verringerns** gilt für Abwässer und Abfälle gleichermaßen, d. h. vor Überlegungen bezüglich geeigneter Abwasserbehandlungsmaßnahmen sollten Sie unbedingt die Möglichkeiten sowohl der **Mengenreduzierung** als auch der **Schadstoffreduzierung** ausschöpfen. Generell gilt, dass prozessintegrierte **Maßnahmen zur Abwasser- und Abfallvermeidung effektiver** sind als nachgeschaltete Aufarbeitungsverfahren (additive Umwelttechnologien). Bei einer vergleichenden Betrachtung sollten Sie alle Aspekte mit einbeziehen, z. B. einen reduzierten Verbrauch an Frischwasser und an Prozessmedien, den Energiebedarf sowie den für eine Abwasserbehandlung erforderlichen Personal- und Platzbedarf.

Schadstoffbelastete Abwässer resultieren im Wesentlichen aus zwei Quellen:

- Verworfenen **Prozessbädern**, z. B. durch Verkeimung unbrauchbar gewordener Kühlschmierstoffe sowie
- **Reinigungs- und Spülsystemen**, die vorwiegend durch eingetragene Verschmutzungen und verschleppte Prozessmedien belastet werden.

Foto: Aufschwimmendes Fremdöl bei einem Reinigungsbad

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Um die Abwassermenge generell und in zweiter Linie die enthaltenen Schadstoffbelastungen möglichst gering zu halten, sollten Sie vorrangig **Maßnahmen ergreifen** um:

- die **Standzeiten Ihrer Prozessbäder** mit standzeitverlängernden Maßnahmen zu optimieren, z. B. bei Kühlschmierstoffen (Näheres siehe Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > KSS > Emulsionen > Vermeidung) oder wässrigen Reinigern (Näheres siehe Metallbearbeitung > Einsatzsstoffe > Reinigen > wässrig > Vermeidung),
- die **Substitutionsmöglichkeiten von besonders abwasserbelastenden Stoffen und/oder Prozessen** durch umweltgerechtere Möglichkeiten zu prüfen. Versuchen Sie aufwändig zu entfernende **Schadstoffgruppen wie AOX oder Komplexbildner (z. B. EDTA) durch die Vermeidung verursachender Schadstoffeinträge (z. B. halogenierte KW, chlorhaltige KSS) bereits in der Entstehung zu verhindern**.
- die **Verschleppungen von Prozessbädern** (und damit auch die Austragsverluste) so weit wie möglich zu reduzieren. Entsprechende Maßnahmen finden Sie in den jeweiligen Rubriken zur Abfallvermeidung bei den Einsatzstoffen,
- eine weitgehende **Rückführung nicht vermeidbarer Austragsverluste** zu gewährleisten, z.B. durch **Kaskadenschaltungen** bei Spülprozessen.

Erst wenn diese Möglichkeiten ausgeschöpft sind sollten Sie sich mit den Möglichkeiten der **betriebsinternen Abwasserbehandlung** auseinandersetzen. Abwässer müssen, wenn sie gefährliche Inhaltsstoffe enthalten, nach dem **Stand der Technik** vor einer möglichen Einleitung in die öffentliche Kanalisation behandelt werden. **Lassen Sie sich dazu von Fachleuten beraten**.

In den meisten metallverarbeitenden Betrieben fallen verbrauchte **wassergemischte Kühlschmierstoffe** (KSS-Emulsionen oder KSS-Lösungen) an. Je nach Anfallmenge stellt sich die Frage, ob eine Entsorgung und damit deren Aufarbeitung in einer externen **Emulsionsspaltanlage** oder eine interne Behandlung kostengünstiger ist. Bei diesen Überlegungen sollten Sie auch andere in Ihrem Betrieb anfallende organisch belasteten wässrigen Medien oder Abwässer mit einbeziehen (z.B. Reinigungsemulsionen, Gleitschleifabwässer). Die **Möglichkeiten der internen Aufarbeitung** sowie einen **beispielhaften Kostenvergleich** finden Sie auf der Seite Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > KSS > Emulsionen > Entsorgung. Da sich die Entsorgungskosten derzeit im langjährigen Vergleich auf niedrigem Niveau befinden ist **eine innerbetriebliche Emulsionsspaltanlage in der Regel erst ab einem Emulsionsaufkommen von > 100 m³/a wirtschaftlich interessant**.

Insbesondere bei kleinen Mengen besteht als dritte Alternative noch die Behandlungsmöglichkeit mit einer **mobilen Behandlungsanlage**. Das unten stehende Beispiel einer Emulsionsspaltanlage zeigt, wie sich dies insbesondere bei höheren Entsorgungskosten rechnen kann. Mobile Anlagen könnten im **regionalen Firmenverbund** betrieben werden.

Tabelle: beispielhafter Wirtschaftlichkeitsvergleich: Zentrale oder mobile Emulsionsspaltung

Beispiel: Betrieb mit 10 m^3/a Kühlschmierstoffemulsion		
Aufarbeitung mit mobiler Anlage (Vakuumverdampfer m. Brüdenverdichtung) und Beseitigung/Verwertung des Konzentrats		**Entsorgung der Emulsion**
Tagessatz der Spaltanlage: 75,- €		
20 Tage á 75,- €	1500 €	
Energiekosten (100 Wh/l) bei 9 m^3	125 €	
Entsorgung des Konzentrats (10% der Einsatzmenge) = 1 m^3 1 m^3 á 225,- €	225 €	Entsorgungskosten: 10 m^3 à 225 €/a
Gesamtkosten:	**1.850 €/a**	**2.250 €/a**
Kostenersparnis:		**400 €/a**

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Richtiger Umgang mit Gefahrstoffen in metallbearbeitenden Betrieben

Für die betriebliche Praxis ist es wichtig, dass Sie sich zunächst einen **Überblick verschaffen**,

- welche **gefährlichen Stoffe** in Ihrem Betrieb oder in Ihrem Verantwortungsbereich eingesetzt werden,
- welche gefährlichen Eigenschaften (z. B. brennbar, **wassergefährdend**, ätzend usw.) die Stoffe haben und
- welche Mengen gelagert und in Anlagen bzw. Maschinen eingesetzt werden.

Als **Informationsquellen und Hilfen** stehen zur Verfügung:

- Die **Sicherheitsdatenblätter** der bei Ihnen eingesetzten Stoffe. Darin sind die Zusammensetzung und die gefährlichen Eigenschaften der enthaltenen Stoffe (Gefahrenhinweise: **R**-Sätze/H-Sätze und Sicherheitsratschläge: **S**-Sätze/P-Sätze) aufgeführt.
- Die **Berufgenossenschaften**, über die z. B. die Gefahrstoffliste, die Technischen Regeln Gefahrstoffe (**TRGS**) sowie verschiedene **berufsgenossenschaftliche Vorschriften** und Informationsschriften zur Vorgehensweise, Lagerung und Umgang mit **gefährlichen Stoffe** verfügbar sind. Letztere sind vollständig in der BG-Datenbank zu finden.
- Informationen zu gesetzlichen Regelungen erhalten Sie im Bereich Rechtsgrundlagen > Gefahrstoffe und Gefahrgut > Gefahrstoffe.

Im zweiten Schritt sollten die mit den verwendeten **Gefahrstoffen verbundenen Risiken** ermittelt, bewertet und die zum Schutz der Mitarbeiter und der Umwelt erforderlichen **Maßnahmen** ergriffen werden. Die **Gefahrstoffverordnung** (**GefStoffV**) sieht hierzu einen dreistufigen Ansatz vor: Informationsermittlung, Gefährdungsbeurteilung und Umsetzung von Schutzmaßnahmen. Der berufsgenossenschaftliche Fachausschuss Maschinenbau, Fertigungssysteme, Stahlbau hat eine **Handlungshilfe** (pdf, 57 KB) erarbeitet, die die Anwendung der Gefahrstoffverordnung am Beispiel des Einsatzes von Kühlschmierstoffen beschreibt. Hier wird zwar noch Bezug auf das mittlerweile entfallene Schutzstufenkonzept gemäß Gefahrstoffverordnung aus dem Jahr 2004 genommen, die Handlungshilfe kann aber dennoch weiter als Erkenntnisquelle dienlich sein, zumal weitere Handlungshilfen und Vorschriften (z.B. **BioStoffV**, **TRGS 400**, **TGRS 500** und **TRGS 611**) genannt. werden.

Bitte beachten Sie: Seit dem 1. Dezember 2010 gelten für Stoffe EU-weit **geänderte Einstufungs- und Kennzeichnungsvorschriften.** Für Gemische (früher Zubereitungen) sind die neuen Regelungen ab dem 1. Juni 2015 anzuwenden. Die altbekannten Symbole und Begriffe werden nahezu komplett ersetzt. Betroffen sind neben den Piktogrammen auch die Bezeichnungen der gefährlichen Eigenschaften sowie die R- und die S-Sätze. Die neuen Vorgaben werden durch eine neue Rechtsvorschrift, die europäische Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (auch **GHS-Verordnung** genannt), festgelegt. Einzelheiten können Sie auf der Seite Rechtsgrundlagen > Gefahrstoffe und Gefahrgut > Gefahrstoffe > GHS nachlesen.

Anregungen zur Selbsthilfe beim Einsatz von Gefahrstoffen

Ein unsachgemäßer Umgang mit Einsatzstoffen, die als Gefahrstoff einzustufen sind, kann sowohl für die Mitarbeiter, als auch für die Umwelt gravierende Folgen nach sich ziehen. Nachfolgend werden, insbesondere unter Berücksichtigung kleinerer Betriebe, Hinweise gegeben, mit denen wichtige Fragen zur **Lagerung und Umgang mit Gefahrstoffen in Eigenregie** beantwortet werden können.

Foto: gesichertes Gefahrstofflager

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Gefahrstoffe

- **Haben Sie bereits eine Übersicht über im Betrieb eingesetzte Gefahrstoffe?** Wenn nein, dann machen Sie einen Betriebsrundgang und schauen bei jeder Maschine oder dem entsprechenden Prozess, welche Betriebsstoffe (z. B. Maschinenöle oder Hydrauliköle), Hilfsstoffe (z. B. Kühlschmierstoffe, Reinigungsbäder, Säuren, Laugen, Lösemittel usw.) und ggf. auch Werkstoffe (z. B. Bearbeitung von Schwermetallen) Sie eingesetzt oder gelagert haben. **Erstellen Sie sich eine Übersichtsliste**.
- Sinnvoll ist die regelmäßige Aktualisierung dieser Aufstellung, aus der hervorgehen sollte, **wo im Betrieb welche Menge an wassergefährdenden, brennbaren oder gefährlichen Stoffen gelagert oder verwendet** wird. In manchen Fällen sind solche Zusammenstellungen auch Pflicht (Gefahrstoffverzeichnis gemäß GefStoffV, Anlagenkataster nach §11 VAwS für Anlagen der Gefährdungsstufe D).
- Auf Basis dieser Aufstellung sollten Sie prüfen, ob und wenn ja welche **Gefährlichkeitsmerkmale** diese Stoffe aufweisen. Die wesentlichen Informationen hierzu sollten auf den Liefergebinden (z. B. Ölfässer oder Kanister) stehen. Ferner sollten Sie sich die Sicherheitsdatenblätter von Ihrem Lieferanten oder vom Hersteller beschaffen.
- **Sind die Mitarbeiter über den richtigen Umgang mit dem jeweiligen Gefahrstoff informiert?** Bestehen Betriebsanweisungen (Vorgaben enthält die TRGS 555) und sind diese den Betroffenen bekannt? Auch über mögliche Betriebsstörungen oder Notfälle und die dann zu treffenden Maßnahmen sollten die Mitarbeiter informiert und geschult sowie die entsprechenden Maßnahmen dokumentiert sein.
  Beispiel: Wie ist vorzugehen, wenn Kühlschmierstoff aus der Maschine tropft oder wenn ein Hydraulikschlauch platzt?

Tabelle: Auswahl von für Betriebe metallverarbeitender Branchen wichtige Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS

TRGS	Titel	Inhalt, Zielgruppe
TRGS 200	Einstufung und Kennzeichnung von Stoffen, Zubereitungen und Erzeugnissen	Es werden Hinweise zur Vorgehensweise gegeben, um Stoffe und Stoffgemische entsprechend ihrer Gefahrenmerkmale richtig einzustufen.
TRGS 201	Einstufung und Kennzeichnung bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen	Die Technische Regel beschreibt die Vorgehensweisen zur Einstufung und Kennzeichnung von Gefahrstoffen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen, was insbesondere die Kennzeichnung innerbetrieblicher Behälter und Rohrleitungen umfasst.
TRGS 400	Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen	Die TRGS ist bei der Durchführung von Gefährdungsbeurteilungen anzuwenden, sofern Tätigkeiten mit Gefahrstoffen zu beurteilen sind. Die Pflicht zur Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen geht auf das Arbeitsschutzgesetz zurück und wird durch die GefStoffV konkretisiert.
TRGS 402	Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition	Die TRGS ist relevant, wenn gefährliche Stoffe in der Luft im Atembereich der Beschäftigten vorhanden sind. Sie beschreibt die im Zuge von Gefährdungsbeurteilungen durchzuführende Ermittlung und Beurteilung inhalativer Expositionen. Sie dient der Feststellung, ob die getroffenen Schutzmaßnahmen ausreichend sind.

TRGS 406	Sensibilisierende Stoffe für die Atemwege	Die TRGS ist anzuwenden, wenn atemwegssensibilisierende Stoffe vorhanden sid. Sie enthält Regelungen zur Durchführung von Gefährdungsbeurteilungen, Festlegung und Überprüfung von Schutzmaßnahmen, Beratung und Unterweisung der Beschäftigten, Sicherstellung der arbeitsmedizinischen Vorsorge und Erstellung notwendiger Dokumentationen.
TRGS 500	Schutzmaßnahmen	Die Technische Regel ist bei der Festlegung von Maßnahmen zum Schutz vor stoffbedingten Gesundheits- und Sicherheitsgefahren anzuwenden.
TRGS 510	Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern	Die TRGS enthält Vorgaben, die mengenunabhängig für alle Gefahrstoffe maßgeblich sind. Sie regelt auch die Durchführung von Gefährdungsbeurteilungen, durch die die tatsächlich erforderlichen Maßnahmen zu ermitteln sind. Für die Lagerung von Stoffen mit bestimmten Eigenschaften (z.B. giftig oder brennbar) bestehen spezielle Vorgaben, die z.T. mit Mengenschwellen verknüpft sind. Des weiteren sind die Zusammenlagerungsverbote der TRGS zu beachten.
TRGS 528	Schweißtechnische Arbeiten	Die TRGS gilt für Tätigkeiten wie Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren an metallischen Werkstoffen, bei denen gas- und partikelförmige Gefahrstoffe entstehen können.
TRGS 555	Betriebsanweisung und Information der Beschäftigten	Diese TRGS behandelt die Erstellung von Betriebsanweisungen und die Durchführung von Unterweisungen.
TRGS 560	Luftrückführung bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden, erbgutverändernden und fruchtbarkeitsgefährdenden Stäuben	Enthält Regelungen für Absauganlagen mit Luftrückführung in den Arbeitsraum. Betrifft z.B in Schweißrauchen möglicherweise enthaltene Nickelverbindungen oder Chromate.
TRGS 611	Verwendungsbeschränkungen für wassermischbare bzw. wassergemischte Kühlschmierstoffe, bei deren Einsatz N-Nitrosamine auftreten können	Anforderungen an wassermischbare KSS im Anlieferungszustand. Schutz- und Überwachungsmaßnahmen beim Einsatz wassergemischter KSS zur Vermeidung einer Nitrosaminbildung.
TRGS 615	Verwendungsbeschränkungen für Korrosionsschutzmittel, bei deren Einsatz N-Nitrosamine auftreten können	Anforderungen an Korrosionsschutzmittel im Anlieferungszustand. Schutz- und Überwachungsmaßnahmen bei deren Einsatz zur Vermeidung einer Nitrosaminbildung.
TRGS 800	Brandschutzmaßnahmen	Die TRGS gilt für Tätigkeiten mit brennbaren oder oxidierenden Gefahrstoffen, bei denen Brandgefährdungen entstehen können.
TRGS	Arbeitsplatzgrenzwerte	Auflistung und Hinweise zur Anwendung von

900		Luftgrenzwerten mit Erläuterungen
TRGS 905	Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe	Auflistung mit Erläuterungen

Quelle: Berufsgenossenschaft Holz und Metall, BGHM (aktualisiert durch B.A.U.M.)

Wassergefährdende Stoffe

Setzen Sie Stoffe mit Wassergefährdungsklasse (WGK) 3 (z. B. Lösemittel wie Per) oder 2 (z.B. KSS- oder Reinigungsemulsionen) ein? **Dann sollten Sie sich über Alternativen mit einer geringeren WGK informieren**. Diese sollten aber keine zusätzliche Nachteile in anderen Umweltbereichen aufweisen. Lassen Sie sich hierzu von Ihrem Chemikalienlieferanten oder von unabhängigen Fachleuten beraten.

- Liegt Ihr Betrieb in einem **Wasserschutzgebiet** oder an einem Gewässer, so gelten besondere Regelungen für den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen. Informieren Sie sich hierzu bei der Gewerbeaufsicht.
- **Stellen Sie sicher, dass wassergefährdende Stoffe nicht in den Boden und auch nicht in die Kanalisation gelangen können**. Lagern Sie z. B. Fässer mit Altölen, Lösemittel oder auch Container mit KSS-behafteten Metallspänen nicht ohne Auffangwannen auf dem Firmenhof. Informieren Sie auch Ihre Mitarbeiter, dass z. B. KSS-Lösungen keinesfalls in den Ausguss gekippt werden dürfen.
- Halten Sie Binder (z. B. **Ölbindemittel**) zum Aufsaugen wassergefährdender Flüssigkeiten bereit.
- Vermeiden Sie **Tropf- und Spritzverluste**. Sichern Sie gefährdete Bereiche z. B. durch Auffangwannen.
- **Umschlagplätze und Handlingsbereiche** mit wassergefährdenden Stoffen müssen mit einem chemikalienbeständigen Boden ausgestattet sein.

Foto: Sichere Lagerung von KSS-Altemulsionen in einer Auffangwanne

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Brennbare Flüssigkeiten

- Die **Sicherheitsdatenblätter** sollten sowohl für Ihre Mitarbeiter als auch für die Feuerwehr in einem Ordner zusammengefasst sein. Besprechen Sie mit der örtlichen Feuerwehr vorsorgende und im Brandfall zu treffende Maßnahmen.
- Die zu ergreifenden Schutzmaßnahmen sind von der Gefahrklasse (z. B. entzündlich, leicht entzündlich) der jeweiligen Flüssigkeit abhängig. Nähere Festlegungen treffen die Technischen Regeln für brennbare Flüssigkeiten TRbF.
- Für eine Lagermenge über 10.000 l leicht- oder hochentzündlicher Flüssigkeiten ist gemäß Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) eine Erlaubnis erforderlich.
- **Unzulässig ist die Lagerung brennbarer Flüssigkeiten** in Durchgängen und Durchfahrten, in Treppenhäusern, in allgemein zugänglichen Fluren, auf Dächern von Bürogebäuden, in Dach- und Arbeitsräumen. Ausnahmen sind möglich bei Kleinmengen und Lagerung in Sicherheitsschränken.

Bei der Planung und Auswahl geeigneter Schutzvorkehrungen und Sicherheitsmaßnahmen empfiehlt es sich, Fachleute oder Sachverständige in den Entscheidungsprozess mit einzubeziehen.

Lärm in metallverarbeitenden Betrieben

Lärm am Arbeitsplatz ist eine oft unterschätzte Gefährdung. **Gesundheitsschäden** durch Lärm sind vielfältig. Sie reichen von Schwerhörigkeit bis hin zu Störungen des Herz- Kreislaufsystems. Unterschätzt wird die Gefahr vor allem deshalb weil die Schädigungen meist erst nach Jahren auftreten, also ein unmittelbarer Zusammenhang von Ursache und Wirkung nicht gegeben ist. **Gesundheitsstörungen können bereits ab einem Dauerlärmpegel von 75 dB(A) auftreten**. Ab 85 dB(A) besteht die Gefahr dauerhafter Gehörschäden.

Der Gesetzgeber hat umfangreiche **Bestimmungen zum Lärmschutz** erlassen. Sie beziehen sich

- auf den **Schutz der Umgebung** vor Lärm. Hierfür gelten immissionsschutzrechtliche Vorschriften die in diesem Portal unter Rechtsgrundlagen > Immissionsschutz > Lärmschutz behandelt werden.
- Auf den **Schutz der Arbeitnehmer** vor Lärmbelastungen am Arbeitsplatz. Hier gelten arbeitsschutzrechtliche Regelungen, insbesondere die Arbeitsstättenverordnung und die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung, auf die im Bereich Rechtsgrundlagen > Arbeitsschutz eingegangen wird.

Gute und anschauliche Hinweise zur Vorgehensweise und zu Lärmreduzierungsmaßnahmen erhalten Sie auch in der Berufsgenossenschaftlichen Information **BGI 688 "Lärm am Arbeitsplatz in der Metallindustrie"**.

Des Weiteren sind die **Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations- Arbeitsschutzverordnung** (TRLV) zu beachten, die den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen beschreiben. Die TRLV Lärm sind mit ihren Teilen 1, 2 und 3 anzuwenden, wenn Gefährdungen der Beschäftigten durch Lärm bestehen. Durch die verschiedenen Teile der TRLV werden folgende Themen behandelt:

- TRLV Lärm: Allgemeines
- TRLV Lärm Teil 1: Beurteilung der Gefährdung durch Lärm
- TRLV Lärm Teil 2: Messung von Lärm
- TRLV Lärm Teil 3: Lärmschutzmassnahmen

Ihr **erster Ansprechpartner** für Fragen zum Thema "Lärm am Arbeitsplatz" ist die Berufsgenossenschaft (BG). Jeder Betrieb ist Mitglied einer BG (für metallverarbeitende Betriebe in Baden-Württemberg in der Regel die Berufsgenossenschaft Metall Nord-Süd (BGMET) und bezahlt Mitgliedsbeiträge. Nutzen Sie daher die umfangreichen Informationsschriften und die Erfahrung der BG möglichst bereits bei der Planung und beim Kauf neuer Anlagen und Geräte.

Als Grundsatz bei der Festlegung von Maßhahmen gilt, dass vorrangig eine **Verringerung der Lärmbelastung an der Lärmquelle** durch schalldämmende Maßnahmen erfolgen soll, z. B. durch Kapselung lauter Maschinen, durch Anschaffung leiserer Maschinen oder auch durch räumliche Abtrennung lauter Bereiche von anderen Arbeitsbereichen.

Grafik: Lärmbelastung von Arbeitnehmern in verschiedenen Branchen

Quelle: Berufsgenossenschaft Metall Nord-Süd

Wie aus der obigen Grafik ersichtlich, sind die Gehörschäden durch Lärmbelastung in der Metallindustrie (inkl. Metallerzeugung) sehr hoch. **Wesentliche Lärmquellen** sind Maschinen, Fahrzeuge und Druckluftgeräusche. Im Außenbereich und auf Baustellen sind dies häufig tragbare bzw. mobile Maschinen und Werkzeuge, die im Gegensatz zu stationären Anlagen meist eine geringere Schalldämmung aufweisen. Neben der Dauerbelastung durch Schall sind **kurzfristige Schallimpulse** verantwortlich für Gesundheitsschäden. Hier sind vor allem die folgenden Maschinen und Geräte verantwortlich:

Tabelle: Beispielhafte Prozesse mit hohem Lärmpotenzial

Bereich	Maschinen mit hohen Lärmimpulsen	Lärmintensive Prozesse
Anlagenbau	Schlagschrauber, Meißel-, Niet- und Richthämmer, Schlagscheren	Schweißen, Flexen
Spanende Metallbearbeitung	Stanz- und Nibbelmaschinen	Schleif- und Gleitschleifanlagen, Fräsen, Beschickungs- und Teileentnahmeprozesse
Umformende Metallbearbeitung	Schmiedehämmer	
Gießereien	Rüttelformmaschinen, Kernschießmaschinen	Rohstoffhandling, Ofenbeschickung, Entformen, Flexen

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Häufig sind auch Transportvorgänge mit Aufprall- oder Anschlaggeräuschen sowie die Bearbeitung und das Handling von Blechprodukten mit einem hohen Lärmniveau verbunden .

Vorgehensweise zur Lärmreduzierung in metallverarbeitenden Betrieben

Viele Bearbeitungsprozesse in metallverarbeitenden Betrieben sind mit teilweise erheblichen Lärmemissionen verbunden. Innerbetriebliches Ziel sollte sein, die Mitarbeiter so weit wie möglich vor lärmbedingten Gesundheitsschäden zu schützen.

So sollten Sie vorgehen:

Ermitteln Sie im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung (die für alle Tätigkeiten oder Arbeitsbereiche gemäß Arbeitsschutzgesetz **ArbSchG**, konkretisiert durch die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung **LärmVibArbSchV**, die Arbeitsstättenverordnung **ArbStättV** und die Betriebssicherheitsverordnung **BetrSichV**, durchgeführt werden muss) **das Gefährdungspotenzial durch Lärmexpositionen**. Hilfreich hierfür sind Unterlagen der Maschinen- oder Anlagenhersteller aus denen die jeweiligen Lärmpegel hervorgehen. Erforderlichenfalls sind **Lärmmessungen** für die Arbeitsbereiche durchzuführen. Beispiele für lärmkritische Arbeitsbereiche sind: Behälterbau, Blechverarbeitung, Gießereien, Schlossereien, Schmieden usw. Unterstützung erhalten Sie bei den **Berufsgenossenschaften** sowie zur **Gefährdungsbeurteilung** über die VDI-Richtlinien 2058 Blatt 2 "Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung" sowie Blatt 3 "Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung verschiedener Tätigkeiten". **Die ermittelten Werte sind zu dokumentieren (**Aufbewahrungsfrist: 30 Jahre).

- Bestehen bei Ihnen Arbeitsbereiche **mit einem Beurteilungspegel von über 80 db(A)** sind die dort tätigen Mitarbeiter zu unterweisen und mit Gehörschutzmitteln zu versorgen.
- Bereiche mit einem **Beurteilungspegel von > 85 db(A)** sind zu kennzeichnen. Es ist ein Lärmminderungsprogramm zu erstellen. Die Beschäftigten sind verpflichtet, einen geeigneten Gehörschutz zu tragen.
- Alle in kenzeichnungspflichtigen Lärmbereichen Beschäftigte müssen durch regelmäßige **Gehörvorsorgeuntersuchungen** im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge überwacht werden.

Die oben dargestellten und weitere Anforderungen werden durch die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung festgelegt. Die wesentlichen Vorgaben dieser Verordnung können unter Rechtsgrundlagen > Arbeitsschutz > Lärmschutz nachgelesen werden. Zu beachten sind auch die Technischen Regeln zur Lärm- und Vibrations- Arbeitsschutzverordnung (TRLV). Durch die verschiedenen Teile der TRLV werden folgende Themen behandelt:

- TRLV Lärm: Allgemeines
- TRLV Lärm Teil 1: Beurteilung der Gefährdung durch Lärm
- TRLV Lärm Teil 2: Messung von Lärm
- TRLV Lärm Teil 3: Lärmschutzmassnahmen

Vorgaben für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen legt die **ArbMedVV** fest.

Die wirkungsvollsten und oft auch wirtschaftlichsten Maßnahmen der Lärmminderung sind technische Maßnahmen. Sie sollten Vorrang vor organisatorischen Maßnahmen und vor dem Einsatz von Gehörschutzeinrichtungen haben. Als Grundsatz gilt, **"dass der Schallpegel in Arbeitsräumen so niedrig zu halten ist, wie es nach der Art des Betriebes möglich ist".** Dies beinhaltet insbesondere, dass die technischen Möglichkeiten der Lärmreduzierung ausgeschöpft und bei Neuinvestitionen die Maschinen bzw. Anlagen nach dem **Stand der Technik** lärmarm betrieben werden. Beziehen Sie bereits bei der **Verfahrensauswahl** auch den Aspekt "Lärm" in die Beurteilungskriterien mit ein.

Tabelle: Beispiele für lärmarme Arbeitsverfahren

Verfahren/Arbeitsprinzip	
lärmarm	geräuschintensiv
Ablegen	Abwerfen
Absaugen	Abblasen
Ankörnen mit Zentrierbohrer	Ankörnen mit Körner
Bohren	Stanzen
Bohrhammer	Schlagbohrmaschine
Bolzenschweißen (Schiffbau)	Anschweißen von z. B. Knacken
Drehschrauber	Schlagschrauber
Elektroantrieb	Verbrennungsmotor
Gießen	Schmieden
Gleitlager	Wälzlager
hydraul. Verformen (Kraftformer)	Bördeln mit Hammer
hydraul. Ziehen/Drücken	Richten mit Hammer
Kleben	Nieten
Laserschneidmaschine	Nibbelmaschine
Optische Signalgebung	Akustische Signalgebung
Oszillierende Säge	Trennschleifen
Plasmaschneiden	Trennen mechanisch
Prägen (z. B. Stempelabrollen)	Schlagstempeln
Pressen	Schlagen
Riementrieb	Kettentrieb
Rundfeilen	Schleifen
Sägen	Trennschleifen
Schrauben	Nieten
Schweißen	Nieten
Schweißnähte rollen	mit Hammer verdichten
Schweißtrennmittel aufsprühen	Schweißspritzer abschlagen
Stempelmaschine (z. B. für Rohre)	Schlagzahlen einschlagen
Taumelnieten	Schlagnieten
Transport kontinuierlich	Transport stoßweise

Quelle: BGI 688 Lärm am Arbeitsplatz in der Metallindustrie, Berufsgenossenschaft Metall Nord-Süd

Ansätze zur Lärmminderung im technischen Bereich:

- **Achten Sie beim Kauf neuer Anlagen auf möglichst lärmarme Ausführungen**. Kontrollieren Sie, ob die technischen Unterlagen Angaben zur Geräuschemission der Maschine enthalten. Lassen Sie sich entsprechende Angaben vom Hersteller garantieren.
- Lärmminderung durch **konstruktive Maßnahmen an der Schallentstehungsstelle**. Hier ist nicht nur der Maschinenhersteller gefragt, sondern auch der Betreiber. Die Vermeidung von z. B. Zusammenstößen fester Körper (fertige Bauteile an Führungsbleche), hohen Drehzahlen, Unwuchten, Resonanzen kann das Geräuschniveau deutlich reduzieren.
- **Minderung von Strömungsgeräuschen beim Drucklufteinsatz** (Näheres: Metallbearbeitung > Nebenprozesse > Druckluft). Überall wo Druckluft eingesetzt wird, treten beim Ausströmen Strömungsgeräusche auf. Diese können teilweise mit einfachen Mitteln (z. B. Schalldämpfer, Mehrlochdüsen) deutlich reduziert werden.

Foto: Drosselschalldämpfer an der Ausströmöffnung einer pneumatischen Steuerung

Foto: Einsatz von Mehrlochdüsen bei einer Abblasvorrichtung für Späne. Pegelminderung von 98 db(A) auf 85 db(A).

Quelle: BGI 688 Lärm am Arbeitsplatz in der Metallindustrie, Berufsgenossenschaft Metall Nord-Süd

Die insbesondere bei der **Blechbearbeitung** durch die große schwingende Oberfläche auftretende Schallabstrahlung kann durch Minderungsmaßnahmen wirkungsvoll reduziert werden, z. B. Lochung der abstrahlenden Flächen, Vergrößern der Steifigkeit, Reduzierung der Fläche und Aufbringen von Dämpfungsmaterialien.

Bild: Reduzierung der Schallabstrahlung bei der Blechbearbeitung durch Auflegen von Magnetfolien

Quelle: BGI 688 Lärm am Arbeitsplatz in der Metallindustrie, Berufsgenossenschaft Metall Nord-Süd

- Bei besonders lauten Einzelmaschinen ist eine **Maschinenkapselung** eine sehr wirkungsvolle Maßnahme. Nachteil ist die damit verbundene schlechtere Zugänglichkeit.
- Abtrennung von Lärmbereichen: Lassen sich die Schallemissionen durch technische Maßnahmen an der Quelle nicht wirkungsvoll reduzieren, so sollten Sie prüfen, ob diese Anlagen nicht durch **räumliche Abtrennung gegenüber anderen Arbeitsbereichen** separiert werden können. Maßnahmen sind z. B. schallschluckende Trennwände und großflächige Abschirmungen. Dabei spielt auch die Bodenbeschaffung eine bedeutende Rolle. So mindern z.B. getrennte Bodenplatten oder ein schwimmender Estrich den Körperschall über den Bodenbereich.

Lärmminderung durch persönliche Schutzausrüstungen

Gehörschutz sollte möglichst bereits ab einem Beurteilungspegel von 85 db(A) getragen werden, da ab diesem Wert mit Gehörgefährdung zu rechnen ist. Die Auswahl von **Gehörschutzeinrichtungen** muss so erfolgen, dass bei den konkreten betrieblichen Schallpegeln die Einhaltung der **Expositionsgrenzwerte** (derzeit 90 db(A), zukünftig 87 db(A)) bzw. der Auslösewerte sicher eingehalten wird. Lassen Sie sich hierzu von den Herstellern von Gehörschutzeinrichtungen oder auch von ihrer Berufsgenossenschaft beraten.

BIld: Arten von Gehörschutzeinrichtungen

Quelle: BGI 688 Lärm am Arbeitsplatz in der Metallindustrie, Berufsgenossenschaft Metall Nord-Süd

Wichtig bei der Auswahl von Gehörschutzeinrichtungen ist auch die **Einbeziehung der betroffenen Mitarbeiter**, damit diese die Notwendigkeit des Tragens erkennen und die Maßnahme nachher in der täglichen Praxis auch akzeptiert und umgesetzt wird.

Energieeffizienz in der Metallbearbeitung

In diesem Bereich erhalten Sie Informationen zu **branchenspezifischen Ansatzpunkten**, Energie einzusparen. **Branchenübergreifende Informationen** finden Sie in der Navigation unter Wichtig für alle Branchen > Energieeffizienz. Die wesentlichen **rechtlichen Regelungen**, die in Industrie und Handwerk bekannt sein sollten, sind in Rechtsgrundlagen > Energie zusammengefasst. Diese Bereiche ergänzen sich.

Quelle: Umweltbundesamt, Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen, Emissionsentwicklung 1990-2010 (Endstand 15.04.2012), www.umweltbundesamt.de/emissionen/publikationen.htm

Der Energieverbrauch der Industrie in Deutschland beträgt ca. 25 % des Gesamtenergieverbrauchs. Davon entfallen ca. 60 % auf die Branchen Steine-Erden-Industrie, Chemische Industrie, Eisenschaffende und NE-Metallindustrie sowie die Papiererzeugung. Die Schwerindustrie und die Papierherstellung mit ihrem hohen Energieverbrauch machen damit den größten Anteil am industriellen Energieverbrauch aus. Gesamtwirtschaftlich betrachtet hat die Metallbe- und - verarbeitung nur einen vergleichsweise kleinen Anteil am gesamten deutschen Energieverbrauch.

Energiekosten auf betrieblicher Ebene enthalten hohe Einsparpotenziale

Auf betrieblicher Ebene dagegen stellt der Energieverbrauch in der Metallbe- und - verarbeitung, insbesondere der Stromverbrauch der Werkzeugmaschinen, meist einen wichtigen Kostenfaktor dar. Es bestehen hier hohe Einsparmöglichkeiten durch technische und organisatorische Verbesserungen. In verschiedenen Untersuchungen wird das Einsparpotenzial auf 20 - 30 % geschätzt.

Der Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten kann bei kleinen und energieintensiven Unternehmen der Metallbe- und - verarbeitung bei 15 % liegen, z. B. bei den Galvaniseuren.

Insgesamt liegt der Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten jedoch deutlich unter 10 %. Eine nicht repräsentative Umfrage von IHKen aus Baden-Württemberg aus dem Jahr 2008, an der sich 266 Unternehmen beteiligten, brachte die folgenden Ergebnisse:

Grafik: Ergebnisse aus einer Umfrage der IHKen in Baden-Württemberg

Quelle: Energiepreise und Unternehmensentwicklung in Baden-Württemberg, IHK, 2009

Im Schnitt liegt der Anteil der Energiekosten bei den beteiligten Unternehmen bei 6,3 %. Angesichts der langfristig steigenden Preise und dem zunehmenden Einsatz von Maschinen wird dieser Anteil zukünftig weiter steigen. Bis 2013 wird in der IHK-Untersuchung mit einem Kostenanteil von 7,6 % gerechnet.

Einsparpotenziale

Wesentliche Energieverbraucher in metallbearbeitenden Betrieben sind u. a. die Werkzeugmaschinen, z. B. Pressen und Lasermaschinen, thermische Prozesse wie Härten oder Einbrennlackieren, Elektromotoren in Pumpen und Ventilatoren, die Drucklufterzeugung oder Trockner. Aber auch die Beleuchtung kann viel Energie verbrauchen und sollte daher bei den Betrachtungen mit einbezogen werden.

Neben der Verbesserung der Effizienz dieser Prozesse und Maschinen kann darüber hinaus durch bessere Wärmeisolierung, Nutzung von Abwärme und Kraft-Wärme-Kopplung Energie eingespart werden.

In der folgenden Tabelle sind die vom Schweizer Bundesamt für Energie zusammengestellten Einsparpotenziale für unterschiedliche Technologiebereiche wiedergegeben.

Tabelle: Einsparpotenziale für ausgewählte Technologiebereiche, Beispiele aus der Schweiz

Technologie	Anwendungsbereich	Mögliche Reduktionen bis 2020 des Gesamtenergieverbrauchs bei Einsatz der besten Technologie (in %)
Elektromotoren Drehzahlregulierung, Last-management, Vermeidung von Teillastzuständen	Umwandlung von Elektrizität in mechanische Energie	5 - 35
Kompressionsmaschinen	Bereitstellung und Transport von Fluiden	2 - 15
Pumpen	Bereitstellung und Transport von Fluiden	8 - 20
Verrohrungsgeometrie	Bereitstellung und Transport von Fluiden	5 - 25
Druckluft	Bereitstellung und Transport von Fluiden	5 - 50
Wärmetauscher Kaskadennutzung	Wärmerückgewinnung	4 - 20
Wärmetauscher Brüdenkompression	Wärmerückgewinnung	8 - 40
Trockner	Erwärmung	2 – 15
Erwärmungstechnologien: Laser, Lichtbogen, Mikrowellen, Infrarotstrahlung, induktives Heizen	Erwärmung	5 - 25
Brenner	Verbrennungsvorgänge	4 - 10
Kondensationskessel	Verbrennungsvorgänge	6 - 8
Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen	Elektrizitäts- und Wärmeproduktion	5 - 12 (**Primärenergie**)
Wärmedämmung	Kessel	4 - 8
Wärmedämmung	Rohre (heiße und kalte Fluide)	5 - 20
Recycling (Papier, Karton, Glas, Aluminium, Stahl u.a.)	Rohstoffe/Ausgangsstoffe	15 - 80

Quelle: Der Energieverbrauch der Schweizer Industrie, Bundesamt für Energie BFE, Bern 2006

Es zeigt sich in allen Bereichen ein hohes bis sehr hohes Energieeinsparpotenzial. Dieses Potenzial ist heute, wegen des fehlenden Energiebewusstseins oder schlicht aus Unkenntnis, weitgehend noch ungenutzt und bietet daher Ansatzpunkte für eine direkt erzielbare Kostensenkung.

Jedes Unternehmen sollte sich intensiv mit seinem Energieverbrauch befassen

Nach wie vor sind Unternehmen nur teilweise über ihren Energieverbrauch im Bilde. Sie erkennen damit auch nicht, welche finanziellen Einsparpotenziale vorhanden sind. Energie ist meist ein Nebenthema, das z. B. bei der Instandhaltung angesiedelt ist. Eine Zuordnung der Energiekosten zu einzelnen Kostenstellen erfolgt meist nicht, da die entsprechenden Informationen fehlen. Zudem wird d**er Energieverbrauch oft mit dem Einkauf von Maschinen und Anlagen unbewusst festgelegt**, da auch die Anbieter technischer Ausrüstungen nicht über den Energieverbrauch informieren und keine energieeffizienten Alternativen mit Kostenvergleich anbieten.

In Deutschlands erster Lernfabrik für Energieproduktivität (LEP) von McKinsey und der Technischen Universität München haben Industrieunternehmen die Möglichkeit, zu lernen, wie sie ihre Energiekosten um bis zu 30 Prozent senken und so ihren CO2- Ausstoß deutlich reduzieren können.

Organisatorische Ansatzpunkte - Energiemanagement auch im Kleinbetrieb!

Einstieg ins Energiemanagement – organisatorische Voraussetzungen schaffen

Aller Anfang ist schwer. Auch beim Aufbau eines Energiemanagements müssen einmalig Vorarbeiten durchgeführt werden, die den Aufwand dann später, im „laufenden Betrieb“, deutlich senken. Zu diesen vorbereitenden Aufgaben zählen die Festlegung der Energiepolitik, der Zielvorgaben, die Zuordnung der Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten sowie **die erstmalige Erhebung des IST-Zustandes.**

Festlegung der Energiepolitik und der Zielvorgaben durch die Firmenleitung

Grundvoraussetzung für ein Energiemanagementsystem sind energiepolitische Ziele auf Unternehmensebene, die von der Geschäftsleitung unterstützt und getragen werden. Die Ziele können allgemeiner Art sein, wie z. B. 10 % weniger Energieverbrauch in zwei Jahren oder eher speziell, wie Erhöhung des regenerativen Energieanteils auf 40 % innerhalb von fünf Jahren. Zur Umsetzung dieser Ziele müssen das entsprechende Personal bereitgestellt und Verantwortlichkeiten zugeteilt werden. Zur Einbindung der Mitarbeiter in das betriebliche Energiemanagementsystem siehe auch die Seite Metallbearbeitung > Energieeffizienz > organisatorische Ansatzpunkte > Mitarbeiter.

Die Ziele erreicht man nur auf methodischem Weg

Grafik: Räumliche Aufteilung von Energieverbrauchern in einem metallverarbeitenden Unternehmen

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Beim Thema Energieeinsparen verliert man sich schnell im Detail und läuft Gefahr sich zu verzetteln. In jedem Unternehmen, auch in handwerklichen Betrieben, ist eine Vielzahl von Strom- und anderen Energieverbrauchern installiert, es fällt an verschiedenen Stellen Abwärme an und die Wärmeverluste treten je nach Jahreszeit unterschiedlich in Erscheinung. **Eine systematische Beschreibung der IST-Situation des Energieverbrauchs ist die Grundlage für den Einstieg in einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess. Am besten kann die IST-Situation im Rahmen einer Energieeffizienzanalyse (Details siehe Energie > Energieffizienz > Effizienzanalyse) erhoben werden.**

Ein kluges Energiemanagement gibt Antwort auf die Frage: Wie kann ich mit dem geringsten Aufwand den größten Nutzen erzielen?

Mit den Daten, Messwerten und Berechnungen wird die IST-Situation im Unternehmen beschrieben und bewertet. Auf Basis dieser so genannten Schwachstellenanalyse können dann die Verbesserungsansätze beschrieben werden. Details zu den möglichen technischen Ansätzen sind auf den Seiten Wichtig für alle Branchen > Energie > Einsparmaßnahmen und Metallbearbeitung > Energieeffizienz > Technologische Ansatzpunkte zusammengefasst.

Aus der Bewertung des Ist-Zustands, den Zielvorgaben des Managements und einer überschlägigen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden diejenigen Ansätze priorisiert, die mit dem geringsten Aufwand den größten Nutzen ergeben. Darauf aufbauend wird eine **konkrete Maßnahmenplanung** erstellt, die dann entsprechend der Prioritätensetzung abgearbeitet werden kann.

Energieverbrauchsanalyse und Lastmanagement

Die Basis des Energiemanagements ist die Analyse des Ist-Zustands bzw. die Energieverbrauchsanalyse. Mit der Energieverbrauchsanalyse werden zwei Dinge erfasst, zum einen der Verbrauch einzelner Bereiche oder Maschinen und zum anderen der zeitliche Verlauf des Energieverbrauchs.

Die Verbrauchsdaten bilden die Basis um einerseits Einsparpotenziale aus dem Vergleich z. B. mit Branchenkennwerten zu identifizieren und andererseits Energiequellen und -senken bezüglich der Möglichkeiten einer Abwärmenutzung gegenüber zu stellen.

Mit der Ermittlung des zeitlichen Verlaufs des Energieverbrauchs werden Lastspitzen im Bereich des Strom- und Wärmebedarfs ermittelt. **Lastspitzen bestimmen die Auslegungsgrößen thermischer und elektrischer Anlagen.** Beim Stromverbrauch geht die Lastspitze direkt in den Leistungspreis ein, bei der Wärmeversorgung bestimmt die Lastspitze die Größe der Heizanlage. Man wird also bestrebt sein, Lastspitzen soweit als möglich zu kappen.

Vorgehen bei der Energieverbrauchsanalyse in der Metallbranche

Die grundsätzliche Vorgehensweise ist branchenunabhängig und wird im Bereich Wichtig für alle Branchen > Energieeffizienzanalyse beschrieben. Die Verbrauchsanalyse ist Basis und Teil der Effizienzanalyse. Nachfolgend werden einige spezifische Tipps für das Vorgehen in der Metallbranche vorgestellt.

Ziel der Energieverbrauchsanalyse ist es, einen Überblick über die Schwerpunkte des Energieverbrauchs zu erhalten. Ziel ist es nicht, den Verbrauch jeder einzelnen Maschine oder einzelner Gebäudeteile zu bestimmen. Man wird daher in der Regel einzelne Verbrauchsgruppen zusammenfassen. Dies kann beispielsweise anhand der räumlichen Gruppierung von Maschinen und Anlagen erfolgen. Bei der Erfassung des **Stromverbrauchs** bietet sich beispielsweise die folgende Vorgehensweise an:

- **Zusammenfassen der Werkzeugmaschinen** mit einer ähnlichen Einsatzcharakteristik,
- gesonderte Erfassung **der Maschinen mit besonders hohem Stromverbrauch**, wie beispielsweise Laserbearbeitungsmaschinen, Kunststoffspritzmaschinen oder
- solcher **die nur sporadisch verwendet werden**.
- Als eigene **Gruppe werden die Beleuchtung, Kälteanlagen, Umwälzpumpen, Ventilatoren und die Drucklufterzeugung** erfasst.

Beim **Wärmeenergieverbrauch** wird

- die **Heizenergie entsprechend der räumlichen Gegebenheiten** aufgeteilt,
- die **Prozesswärme**, auch wenn sie elektrisch erzeugt wird, meist einzeln erfasst, also beispielsweise Badbeheizungen, Einbrennöfen oder Trockner.
- Zugleich mit dem Wärmeverbrauch sollten **Abwärmequellen wie Abluft, Kühlwasser** etc. erfasst werden.

Die Erfassung erfolgt oft durch Messungen, wobei der messtechnische Aufwand sehr hoch werden kann. Alternativ können einzelne Verbrauche berechnet oder sinnvoll abgeschätzt werden. Die erfassten und berechneten Energieflüsse in einem Unternehmen können in einem **Sankeydiagramm** dargestellt und bewertet werden.

Foto: Laserstanzmaschine

Quelle: Fa. Veyhl, Neuweiler

Ermittlung und Senkung von Lastspitzen

Es ist generell Ziel Lastspitzen zu vermeiden. Lastspitzen in der Stromabnahme werden über den **Leistungspreis** direkt vom Stromerzeuger berechnet. Leistungsspitzen im thermischen Bereich bedingen größere Anlagen zur Energieerzeugung. Die Verminderung von Lastspitzen senkt den Energieverbrauch nicht, aber er wird dadurch vergleichmäßigt, was reduzierte Beschaffungs- bzw. Erzeugungskosten bedeutet.

Lastspitzen werden im Allgemeinen durch Einschaltvorgänge zu Schichtbeginn oder Schichtwechsel verursacht. Durch zeitversetztes Einschalten können die Spitzen gekappt werden. Hierfür sind auch spezielle Steuergeräte verfügbar, die Verbraucher nach einem vorgegebenen Plan zeitversetzt ans Netz bringen. Weitere Informationen zur Vergleichmäßigung von Strom Lastspitzen finden Sie im Kapitel Wichtig für alle Branchen > Energieeffizienz > Einsparmöglichkeit > Lastmanagement.

Thermische Lastspitzen können die Prozessstabilität beeinflussen, wenn z. B. durch Aufheizvorgänge nicht mehr ausreichend Energie für andere Prozesse zur Verfügung steht.

Grafik: Beispiel Lastverlauf der Energieversorgung für Galvanik und Lackieranlage

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Lastspitzen treten insbesondere bei Aufheizvorgängen von Bädern, Anfahrprozessen und natürlich im Winter an besonders kalten Tagen auf. In obiger Grafik ist der Lastverlauf einer thermischen Anlage zur Beheizung einer Galvanik und der Bäder einer Lackieranlage dargestellt. Man erkennt deutlich die Lastspitzen, die beim Aufheizen der Bäder der beiden Anlagen auftreten. Die Montagsspitze ist durch ein zeitversetztes Anfahren der beiden Anlagen deutlich vermindert.

Thermische Lastspitzen können auf vielfältige Weise vermindert werden:

- durch **zeitversetztes Einschalten** von Wärmeverbrauchern
- durch **Verlängerung der Aufheizzeit** von Bädern
- durch **Entkopplung thermischer Prozesse**

Hinweis:
Beheizte Bäder und Öfen sollten trotz des Auftretens von Lastspitzen bei Stillständen heruntergefahren werden. Dies spart in jedem Fall Energie im Vergleich zum Durchfahren im Leerlauf. In der Nacht und am Wochenende sollten Beheizungen von Bädern und Öfen, soweit dies verfahrenstechnisch zulässig ist, vollständig heruntergefahren werden. Falls eine Nachtabsenkung oder ein Ausschalten nicht möglich ist, sollten die Bäder zumindest abgedeckt werden.

Einbindung der Mitarbeiter

Nur informierte Mitarbeiter sind auch motivierte Mitarbeiter! Ein Energiemanagement enthält einerseits wichtige technische Aspekte, andererseits ist aber die Information der Mitarbeiter und ihre frühe Einbindung in das Managementsystem der Schlüssel für einen **dauerhaften Erfolg**. Die klare Zuordnung von Verantwortlichkeiten ist ein weiterer wichtiger Baustein für ein funktionierendes Energiemanagementsystem.

Frühe Einbindung der Mitarbeiter

Die Einführung von Managementsystemen bringt leicht Unruhe in ein Unternehmen. Für den einzelnen Mitarbeiter kann daraus auch zusätzliche Arbeit entstehen, Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten können sich verschieben. Informieren Sie die Mitarbeiter daher schon am Anfang des Prozesses über die Ziele, die mit dem Energiemanagement verfolgt werden. **Machen Sie klar, dass Energiekosten gesenkt werden sollen und damit auch ein Stück Arbeitsplatzsicherheit geschaffen wird. Beziehen Sie auch die Mitarbeiter ein, die nicht direkt betroffen sind.**

Foto: Die Einbindung der Mitarbeiter in der Produktion ist ein wichtiger Baustein des Energiemanagements

Quelle: Fa. Jösel Metallbearbeitung, Mühlacker-Enzberg

Motivation der Mitarbeiter

Mitarbeiter, die Ideen zur Energieeinsparung einbringen, sollen dafür belohnt werden. Sie tragen zur Kostensenkung im Unternehmen bei und verbessern dessen Ertragslage.

Es bietet sich an, das Thema Energie in das betriebliche Vorschlagswesen einzubinden und Vorschläge, die zu belegbaren Einsparungen führen, nach einem verbindlich vorgegebenen Schema zu vergüten.

Klare Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten

Ein Managementsystem bedarf einer klaren Struktur. Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten müssen klar geregelt sein. **Fixieren Sie diese Verteilung von Aufgaben schriftlich** und halten Sie die Zuständigkeiten in einem Organigramm oder vergleichbarem fest. Zuständigkeiten auf Zuruf haben ebenso wenig Erfolg, wie der Appell an alle, mit dem Einsparen von Energie endlich zu beginnen.

Die Aufgabenverteilung muss von der Geschäftsleitung genehmigt werden, ebenso wie die Freistellung Verantwortlicher von anderen Aufgaben, um entsprechend Zeit für das Energiemanagement frei zu machen. Ohne klare Regelung und ohne das erforderliche Zeitbudget wird kein Managementsystem funktionieren.

Information und Schulung

In regelmäßigen Schulungen und Informationsveranstaltungen soll über die aktuellen Aufgaben und Vorhaben zur Senkung des Energieverbrauchs informiert werden. Die Information, insbesondere über die Verbrauchsschwerpunkte und die technischen Ursachen von erhöhtem Energieverbrauch, ermöglicht es den Mitarbeitern selbst aktiv am Managementsystem teilzunehmen. So können beispielsweise schon offene Fenster oder falsch eingestellte Ventilatoren den Energieverbrauch deutlich erhöhen.

Ziel dieser Schulungen ist es, bei den Mitarbeitern ein klares Verständnis über die Energieflüsse, die damit verbundenen Kosten und deren Beeinflussung durch äußere Ursachen zu entwickeln. Informierte und engagierte Mitarbeiter werden eher eine leer laufende Anlage abstellen oder das Licht ausmachen, als uninformierte.

Verhaltensänderungen

Automatische Überwachungssysteme und Messeinrichtungen sind für die Überwachung des Energieverbrauchs von hoher Bedeutung. **Aber ohne aufmerksame und motivierte Mitarbeiter können wichtige Einsparpotenziale nicht erschlossen werden.**

Nicht jeder Lichtschalter, Absperrhahn oder jedes Fenster kann von Sensoren und Messgeräten überwacht werden. **Es sind meist die Mitarbeiter, die das Licht in Lagerhallen an- und ausmachen, Fenster zur Lüftung öffnen oder Werkstore für Be- und Entladungsvorgänge bedienen.** Wenn sie dies mit einem klaren Verständnis über den damit verbundenen Energieverbrauch tun, werden sie sich auch entsprechend energiebewusst verhalten.

Weiterhin sind Mitarbeiter wesentliche Informationsquellen. Nur sie wissen en detail wie eine Maschine oder Anlage gefahren wird, sie kennen versteckte Energieverluste bei Anlagen und Maschinen. Daher ist es sinnvoll die Mitarbeiter in die wiederkehrenden Audits mit einzubeziehen und deren Wissen zu nutzen. Insgesamt steigt mit einer aktiven Beteiligung der Mitarbeiter deren Motivation selbst Einsparpotenziale zu finden.

Technologische Ansatzpunkte zur Energieeinsparung

Zur **nachhaltigen Senkung des Energieverbrauchs** in einem Unternehmen müssen, unabhängig von der Betriebsgröße, organisatorische und technische Maßnahmen ineinander greifen. Während die organisatorischen Ansatzpunkte weitgehend auf alle produzierenden Betriebe anwendbar sind, weisen die technologischen Ansätze **branchen- und prozessspezifische Schwerpunkte** auf.

Der **Energieverbrauch in metallverarbeitenden Betrieben** setzt sich typischerweise aus dem **Strombedarf** (Maschinen, Anlagen, Beleuchtung usw.) und dem **Energiebedarf zu Heizzwecken** (Heizöl, Gas, evt. Solarenergie) zusammen. Bei der Heizenergie sollte noch zwischen der Raum- und Gebäudeheizung und der Prozessheizenergie, die teilweise auch über Strom abgedeckt wird, unterschieden werden.

Bild: Beispielhafte Verbrauchsschwerpunkte in metallverarbeitenden Betrieben

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Bevor Sie technische Umsetzungsmaßnahmen in Angriff nehmen, sollten Sie die **Verbrauchsschwerpunkte in Ihrem Unternehmen** über eine Energieverbrauchsanalyse identifizieren und sich so einen Überblick verschaffen. Die Einsparungspotenziale berechnen sich dann aus dem Ist-Zustand und dem, mit energieeffizienten Anlagen oder Techniken realisierbaren Energieverbrauch. Bei den in der Metallbranche typischen Schwerpunktsverbrauchern bestehen häufig große technische Einsparpotenziale beim Energieverbrauch, die bei Neuinvestitionen aber teilweise auch durch Nachrüstungen realisiert werden können.

Große Stromverbraucher sind beispielsweise

- **Werkzeugmaschinen,** insbesondere Bearbeitungszentren, Laserbearbeitungsmaschinen, Erodiermaschinen und Pressen
- Die Versorgung mit **Prozess- und Hilfsstoffen**, insbesondere Kühlschmierstoffen
- **Wärmebehandlung** und warme Umformprozesse, Glüh- und Härteöfen
- **Beheizte Prozessbäder, galvanische und Eloxalprozesse** und z. B. elektrisch beheizte Reinigungsbäder
- **Nebenanlagen** wie Kompressoren, Klimageräte, Ventilatoren, Pumpen und die Beleuchtung

Große Wärmeverbraucher sind beispielsweise

- Thermisch beheizte **Prozessbäder**
- **Gasbeheizte Öfen** z. B. zur Wärmebehandlung und Trocknung
- **Lackieranlagen**, Trockner und Einbrennöfen
- **Thermoölanlagen** und **Dampfheizungen** zur Erzeugung von Prozesswärme
- Große **Wärmeverluste an Raumwärme** entstehen bei der Zwangsentlüftung, offenen Hallentoren sowie bei Be- und Entladevorgängen. Ansatzpunkte für Energieeinsparungen bei der Gebäudeheizung gelten weitgehend brachenunabhängig für alle Betriebe. Hinweise zu Maßnahmen für Energieeinsparungen bei der Gebäudeheizung finden Sie daher im Kapitel Wichtig für alle Branchen > Energieeffizienz > Energieeinsparmöglichkeiten > Energieerzeugung.

In den folgenden Abschnitten werden die spezifischen Ansatzpunkte zu **Energieeinsparmöglichkeiten in der Metallbe- und -verarbeitung** beschrieben. Weitere Informationen zu technischen Einsparpotenzialen generell erhalten Sie im Kapitel Wichtig für alle Branchen > Energieeffizienz > Einsparmöglichkeiten

Prozessoptimierung

Viele Energieberatungen beschränken sich auf die Verbesserung der Wärmedämmung, Optimierung der Beleuchtung und der Be- und Entlüftung. Dies sind durchaus wichtige und Erfolg versprechende Ansätze. **In Industriebetrieben, gerade im Metallgewerbe, sind es jedoch die technischen Prozesse, die die meiste Energie verbrauchen.** Ingesamt werden ca. 66 % der in der Industrie eingesetzten Energie als Prozesswärme verbraucht, wobei hier ein großer Teil der chemischen Industrie zuzuordnen ist. Weitere 23 % gehen in die mechanische Energie, überwiegend in die Antriebe von Werkzeugmaschinen, sowie Pumpen und Ventilatoren.

Grafik: Endenergieverbrauch in der Industrie nach Anwendungsbereichen

Quelle: BMWi, 2006

Bei der Prozesswärme und den Werkzeugmaschinen sind große Einsparpotenziale vorhanden, beispielsweise

- bei Elektromotoren im Schnitt ca. 20 %,
- bei Trocknern ca. 10 %,
- bei Rohrleitungen für Fluide ca. 20 %,
- bei Kunststoffspritzmaschinen ca. 20 %.

Zudem bestehen, z. B. bei Laserbearbeitungsmaschinen oder Pressen, Möglichkeiten die **Abwärme zu nutzen**. Bei Prozessbädern können durch Abdeckung, Verminderung der Absaugung oder Änderung der Temperatur oder der Prozesschemie oft deutliche **Energieeinsparungen** (bis zu 50 %) erzielt werden. Vertiefende Informationen zu diesen Bereichen haben wir auf den folgenden Seiten zusammengestellt.

Wirtschaftlich sinnvoll erschließbare Einsparpotenziale und Möglichkeiten zur **Wärmekoppelung** können nur durch eine systematische **Energieeffizienzanalyse** aufgedeckt und bewertet werden. Das methodische Vorgehen ist erforderlich, um aus der Vielzahl von Ansatzpunkten, die auch in kleinen Unternehmen vorhanden sind, die Lohnenden herauszufiltern. Das Vorgehen „Energieeffizienzanalyse“ wird im Abschnitt Wichtig für alle Branchen > Energieeffizienz > Energieeffizienz beschrieben.

Mit dieser Methode werden die wesentlichen Energieströme im Unternehmen sichtbar. Es werden die Energieverbrauchsschwerpunkte aufgezeigt. Die wesentlichen Wärmeverluste werden sichtbar, es werden auch Abwärmepotenziale aufgedeckt, die als **Nutzenergie** in anderen Prozessen eingesetzt werden könnten. **Diese ganzheitliche Betrachtung ist die Grundlage für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Dazu werden die Energieströme in Kostenströme umgerechnet**, so dass ersichtlich wird, wo wie viel Geld für Energie ausgegeben wird und welche Einsparungen sich aus Prozessänderungen ergeben würden.

Grafik: Sankeydiagramm eines Spritzgießprozesses

Quelle: ABAG-itm, EWE AG, 2009

Mit diesen Informationen können dann beispielsweise nach einer ABC-Analyse sinnvolle Schwerpunkte gesetzt werden. Entsprechend der Schwerpunktsetzung werden einzelne **Prozesse detailliert betrachtet und die Einsparpotenziale Schritt für Schritt erschlossen**. Hier lohnt sich für die Untersuchung auch ein höherer messtechnischer Aufwand, da über die vorausgegangene Analyse eine hohe Wahrscheinlichkeit für ein lohnendes Einsparpotenzial besteht.

Wichtige Informationen liefert die Kenntnis betriebsinterner Energieflüsse auch bei Neuinvestitionen in Heizanlagen. Meist sind alte Anlagen überdimensioniert und es kann ein neues energiesparendes Heizungskonzept umgesetzt werden. Auch bei der Beschaffung energieintensiver Maschinen und Anlagen können energiesparende Varianten realisiert werden. Da durch die Energieflüsse bekannt ist, wo welche Art von Energie benötigt wird und wo Wärme nachgefragt wird, können unternehmens-interne Wärmeverbünde geplant und realisiert werden. Mit der Kenntnis der Energieflüsse wird ein stetiger Verbesserungsprozess möglich, alte Fehler werden vermieden.

Bearbeitungsmaschinen

In den meisten metallverarbeitenden Betrieben entfällt ein Großteil des Strombedarfs auf den **Betrieb von Werkzeugmaschinen**. In den wenigsten Fällen wird man diesen Anteil jedoch konkret beziffern können, da die Anschlussleistung einer Maschine nur eine geringe Aussagekraft zum tatsächlichen Strombedarf hat. Erfahrungswerte aus verschiedenen Energieeffizienzprojekten haben gezeigt, dass deren Anteil innerhalb einer Bandbreite von 20 bis 60 % liegt - bei Betrieben mit Schwerpunkt Oberflächen- und Wärmebehandlung eher im unteren Bereich dieser Spanne und bei Betrieben mit Schwerpunkt bei spanenden und umformenden Bearbeitungsprozessen im oberen Bereich.

Fazit: Mit einem Anteil von 20 – 60 % der betrieblichen Stromkosten und einem geschätzten Optimierungspotenzial von ca. 20 % ist der Energieverbrauch von Werkzeugmaschinen eine Position, bei der es sich lohnt genauer hinzuschauen.

Der beste Zeitpunkt die Energieeffizienz von Bearbeitungsmaschinen unter die Lupe zu nehmen bzw. zu verbessern ist bei der **Planung von Neuinvestitionen**. Neben den Investitionskosten sind die Betriebskosten ein wesentlicher Faktor für eine kostengünstige Fertigung und hier machen die Energiekosten einen oft unterschätzten Anteil aus. Nachstehende Grafik zeigt, dass bei diesem Beispiel, gerechnet über eine fünfjährige Nutzungsdauer, ca. 20 % der Gesamtkosten aus Energiekosten resultieren.

Grafik: Ganzheitliche Kostenbetrachtung über die Einsatzzeit bei Maschineninvestitionen

Quelle: MAG, Industrial Automation Systems, Vortrag 3. PIUS-Länderkonferenz 2009

Fordern Sie daher bei Ausschreibungen aussagefähige Unterlagen zum Energieverbrauch an und fordern Sie die Maschinenhersteller auf, Ihnen Alternativangebote zu energieeffizienten Systemen zu unterbreiten. So rechnet sich z. B. der Einsatz von Elektromotoren der **Effizienzklasse** Eff 1 oft innerhalb eines Jahres (2-Schicht-Betrieb, Leistung > 2 kW).

Wo stecken die wesentlichen Energieverbraucher bei Werkzeugmaschinen?

Werkzeugmaschinen sind heute komplexe Systeme, die ein breites Anforderungsprofil an technologischen Anforderungen für eine effiziente Fertigung sowie Anforderungen aus Arbeits- und Umweltschutz erfüllen müssen. Neben dem Antrieb für den eigentlichen Bearbeitungsprozess verfügt eine Werkzeugmaschine daher über viele Zusatzeinrichtungen zur Steuerung, zum Handling der Bauteile sowie zur Ver- und Entsorgung von Prozess- und Hilfsstoffen, wie z. B. Kühlschmierstoffe, Schmieröle, Pressluft usw. **Im Durchschnitt werden nur ca. 20 % der Energie für den eigentlichen Bearbeitungsprozess, jedoch ca. 80 % zum Betrieb der Nebenaggregate benötigt.**

Grafik: Energieverbraucher in einem spanenden Bearbeitungszentrum mit Nassbearbeitung

Quelle: MAG, Industrial Automation Systems, Vortrag 3. PIUS-Länderkonferenz 2009

Auch in **Zeiten der Bereitstellung**, d.h. wenn keine Teile produziert werden, benötigen Werkzeugmaschinen noch bis zu 50 % der Energie. Nach Abschaltung von Nebenaggregaten wie Kühlschmierstoff-Versorgung, Bettspülung und Absaugung reduziert sich der Energiebedarf auf ca. 20 %. Erst nach Abschaltung von Hydraulikaggregaten, Schmiersystemen, Achsantrieben und Kühlaggregaten verbleibt im Ruhebetrieb ein Restenergiebedarf von ca. 5 %.

Ansatzpunkte zur Verbesserung der Energieeffizienz bei Werkzeugmaschinen

Als **Betreiber von Werkzeugmaschinen** sollten Sie sowohl beim bestehenden Maschinenpark, als insbesondere auch bei geplanten Neuinvestitionen den Energieverbrauch erfassen und mit Hilfe nachfolgender Aufstellung auf Möglichkeiten zur Einsparung von Energie überprüfen.

Bei bestehendem Maschinenpark sollten Sie folgende Ansatzpunkte prüfen:

- Wie wird die jeweilige Maschine eingesetzt? Dauerbetrieb? oder Betrieb in bestimmten Taktzeiten? oder Bearbeitung von Einzelteilen bzw. Losen?
- Welche **Hilfsaggregate** laufen in Bearbeitungspausen weiter? Lassen sich diese abschalten? z. B. Kühlschmierstoffpumpe, Absaugung, Hydraulikpumpe.
- Kann die Maschine zeitweise ganz **abgeschaltet** werden, z. B. in der Frühstücks- und Mittagspause?
- Vermeiden Sie **uneffektive Warmlaufzeiten**. Die Maschine sollte nur dann eingeschaltet werden, wenn sie auch wirklich genutzt wird.
- Laufen die **Nebenaggregate** effektiv, z. B.
    - wird beim Abschalten des Kühlschmierstoffs die **Pumpe ausgeschaltet** oder nur ein Ventil geschlossen? (die Pumpe läuft dann mit Höchstleistung gegen den hydraulischen Widerstand)
    - ist die **Maschinenraumabsaugung** bedarfsgerecht ausgelegt (nicht überdimensioniert) und sind die Strömungswege frei (z. B. verschmutzte Spänegitter, Saugrohre)
- Falls ein Elektroantrieb ausgetauscht werden muss, fragen Sie Ihren Hersteller, ob auch ein **Elektromotor der Effizienzklasse 1** eingebaut werden kann.
- Verfügen die (größeren) Antriebe über eine **lastabhängige Steuerung**? Wenn nein, dann prüfen Sie die Umrüstungsmöglichkeit.
- **Trockenbearbeitung oder Minimalmengenschmierung** als Alternative zur konventionellen Nassbearbeitung sind nicht nur deutlich energieeffizienter (die ganzen mit dem KSS-Kreislauf verbundenen Aggregate fallen weg), sondern weisen auch **Vorteile bezüglich des Umwelt- und Arbeitsschutzes** auf. Bei vielen Prozessen kann zusätzlich die **Bearbeitungseffektivität gesteigert** werden. Ausführliche Informationen zur Technologie und Einsatzbereichen finden Sie im Kapitel Metallbearbeitung > Bearbeitungsverfahren > spanende Bearbeitung > Trockenbearbeitung.

Bei Neuinvestitionen ist die Einbeziehung des Energieverbrauchs bei der Investitionsentscheidung wichtig:

- Lassen Sie sich vom Hersteller den **tatsächlichen Energiebedarf** (nicht die Anschlussleistung) für die verschiedenen Betriebszustände angeben (Bearbeitung, Bereitschaft, Stand by) und vergleichen Sie damit über die Einsatzzeit (z. B. 5 Jahre) verschiedene Angebote unter Einbeziehung der Energiekosten.
- Überdimensionierte **Antriebe** sind uneffektiv! Bestimmen Sie die ausreichende Spindelleistung für die geplanten Bearbeitungsprozesse. Auf dieser Basis sollte vom Maschinenhersteller der notwendige Motor und der dazugehörige Steller ausgelegt werden.
- Prüfen Sie die **Möglichkeit der Trockenbearbeitung oder Minimalmengenschmierung**. Eine Übersicht über das Einsatzspektrum und bestehende Erfahrungen finden Sie im Kapitel Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Spanende Bearbeitung > Trockenbearbeitung > Stand der Technik.
- Fragen Sie nach **Optionen zur Reduzierung des Energiebedarfs**
    - z. B. den Einsatz von energieeffizienten Antrieben
    - vergleichen Sie die Kosten über die geplante Einsatzzeit
    - setzen Sie sich Ziele, z. B. dass Maßnahmen zur Energieeinsparung generell umgesetzt werden sollten, wenn sie sich in 5 Jahren amortisieren

Beispiel: Kostenvergleich bei der Maschinenbeschaffung

Kalkulierte Nutzungsdauer	5 Jahre
Einsatzzeit	3-Schichtbetrieb, 225 Tage/a
Durchschnittsverbrauch	17 kW
Strompreis	0,08 €/kWh
Energiekosten über die Einsatzzeit	27.000 h x 17 kW x 0,08 €/kWh = 36.720,- €

Ein Einsparpotenzial von 10 % entspricht 1,7 kW und bedeutet eine Einsparung von 3.672 € über die Maschineneinsatzzeit.

Die entsprechenden Maßnahmen dürfen demnach max. 3.600 € Mehrinvest ausmachen.

Für die **Hersteller von Werkzeugmaschinen** ist die Verbesserung der Energieeffizienz ein **bedeutendes Entwicklungsthema**, da bei steigenden Energiekosten der Energiebedarf für eine Bearbeitungsaufgabe an Bedeutung zunehmen wird.

Auch im Arbeitsprogramm 2009 – 2011 zur so genannten **„Ökodesign-Richtlinie“ der EU (Richtlinie 2005/32/EG)** (in deutsches Recht umgesetzt durch das **EVPG**) sind die Werkzeugmaschinen als energierelevante Produktgruppe aufgeführt. Im genannten Zeitrahmen sollen hierzu Studien durchgeführt und **Vorgaben zur Verbesserung der Energieeffizienz** erarbeitet werden. Für die Maschinenhersteller resultiert hieraus insbesondere auf der Entwicklungsseite **Handlungsbedarf**, um im internationalen Wettbewerb Vorteile zu erhalten.

Um eine fundierte Basis für die Umsetzung von Verbesserungspotenzialen zu erarbeiten, muss im ersten Schritt eine Ist- und Schwachstellenanalyse durchgeführt werden. Hierzu sind Messungen des Energieverbrauchs und Berechnung der Energiekosten von der derzeitigen Maschinengeneration zur Identifikation der TOP-Energieverbraucher erforderlich.

Grafik: Entwicklungsphasen einer energieeffizienten Werkzeugmaschine

Quelle: MAG, Industrial Automation Systems, Vortrag 3. PIUS-Länderkonferenz 2009

Ansatzpunkte mit Verbesserungspotenzial bei der Energieeffizienz bei Bearbeitungsmaschinen sind:

- Auslegung von Motoren und Steuerungen auf die wirklich **erforderliche Spindelleistung**
- Einsatz von Motoren mit der **Energieeffizienzklasse 1**
- Reduzierung der Verluste von Führungen und Bettbahnen, Optimierung der Achsantriebe, Reduktion der bewegten Massen
- Einsatz reibungsminimierter und damit energieeffizienterer Lagerungen, z. B. durch Kugelrollenlager.
- Vermeidung von uneffektiven Warmlaufphasen, z. B. durch **Temperaturkompensation**
- **Reduzierung des Kühlschmierstoffbedarfs** bzw. besser Auslegung der Maschine auf **Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung**. Hinweise auf dazu geeignete Werkzeugmaschinen finden Sie auf der Seite Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Spanende Bearbeitung > Trockenbearbeitung > Werkzeugmaschinen.
- **Reduzierung des Absaugvolumens** aus dem Arbeitsraum, z. B. durch Optimierung der Erfassungsstelle und Minimierung des Arbeitsraums.
- **Reduzierung des Druckluftverbrauchs**
- Optimierung des **Hydrauliksystems** hinsichtlich Umlaufmengen und Energieverbrauch der Systemkomponenten (z. B. Pumpen, Magnetventile)

Versorgung mit Kühlschmierstoffen

Bei spanenden und umformenden Bearbeitungsprozessen werden seit langem Kühlschmierstoffe (KSS) zur **Prozessoptimierung** eingesetzt. Primäre Aufgaben sind die Reduzierung der Umform- und Reibungsenergie an der Bearbeitungsstelle und die thermische Entlastung von Werkzeug und Werkstück. Mit dem KSS-Einsatz sind jedoch auch **erhebliche Zusatzaufwendungen**, Risiken im Bereich Umwelt- und Arbeitsschutz und, wie neuere Untersuchungen aus der Automobilindustrie gezeigt haben, auch ein **erheblicher Energiebedarf** verbunden.

Auf die Aspekte des **Umwelt- und Arbeitsschutzes** beim KSS-Einsatz wird im Kapitel Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Kühlschmierstoffe detailliert eingegangen.

Der **mit dem KSS-Einsatz verbundene Energiebedarf** und Ansatzpunkte zur Reduzierung der Energiekosten ist Thema dieser Seite.

Um die Kühlschmierstoffe gezielt an die Wirkstelle zu führen und im gebrauchsfähigen Zustand zu erhalten sind Pumpen und eine Kreislaufführung mit verschiedenen Stationen und Einrichtungen erforderlich. Wassergemischte KSS (Emulsionen und Lösungen) sind diesbezüglich aufwendiger als nichtwassermischbare KSS (Öle). Verschiedene Untersuchungen in der Automobilindustrie (z. B. VW, Salzgitter) haben gezeigt, dass der **Energieverbrauch für die Kühlschmierstoffbereitstellung und -aufbereitung bis zu 60 % des Stromverbrauchs eines Fertigungsprozesses** ausmachen kann.

Grafik: Energieeinsatz am Beispiel einer Zentralanlage für KSS-Lösungen

Quelle: ABAG-itm, 2009

Energieverbraucher (überwiegend in Form elektrischer Energie) bei KSS-Versorgungseinrichtungen sind insbesondere

- **Pumpen**: Zuführung zur Bearbeitungsstelle (teilweise werden hier Hochdruckpumpen mit bis zu 80 bar eingesetzt), Rückführung (falls Höhenunterschied nicht ausreichend, oft verbunden mit dem Abtransport der Späne, Schlämme)
- **Filteranlagen und KSS-Pflegeeinrichtungen** (z. B. Bandfilter, Skimmer, Zyklone, Zentrifugen)
- **Absauganlagen und Ölnebelabscheider** an den Bearbeitungsmaschinen
- **Kühlsysteme** (falls erforderlich: Luft, Wasser, Verdunster)
- KSS-Entsorgung, falls innerbetrieblich (**Abwasserbehandlungsanlage, Emulsionsspaltanlage**)
- Anlagen zur **KSS-Abtrennung von Spänen und Werkstücken**, z. B. Späneschleudern

Nicht direkt, aber indirekt ist auch der **Energieeinsatz von Entfettungs- und Reinigungsanlagen** mit in die Betrachtung einzubeziehen. Nicht mit Kühlschmierstoffen behaftete Teile können unter Umständen direkt weiterverarbeitet werden. Zumindest ist der Reinigungsaufwand deutlich geringer. Ansatzpunkte zur Reduzierung des Energiebedarfs von Reinigungsanlagen finden Sie auf der Seite Metallbearbeitung > Energieeffizienz > Prozess- und Reinigungsbäder.

Ansatzpunkte zur Verbesserung der betrieblichen Energieeffizienz beim KSS-Einsatz

Im ersten Schritt sollten Sie sich einen **Überblick über die in Ihrem Betrieb mit dem Kühlschmierstoff-Einsatz verbundenen Energieverbraucher** verschaffen. Am besten dokumentieren Sie dazu tabellarisch alle Aggregate entlang des KSS-Kreislaufs mit ihren Nennleistungen und den voraussichtlichen Laufzeiten. Bei Zentralanlagen müssen alle mit KSS versorgten Maschinen einbezogen werden. Auf diese Weise erhalten Sie bereits fundierte Anhaltswerte über den Gesamtverbrauch und die anteilsmäßige Aufteilung. Zur Bestimmung des konkreten Energieverbrauchs der einzelnen Komponenten oder Anlagen sind Energieverbrauchsmessungen über längere Zeiträume erforderlich.

Beispiel: Erfassung der Stromverbraucher eines einzelversorgten Bearbeitungszentrums im Zweischichtbetrieb

Anlagenkomponenten	El. Anschlusswert und Einschaltdauer	Anteil Prozess	Anteil KSS
Bearbeitungszentrum	35 kW, 14 h = 490 kWh	440 kWh	50 kWh
KSS-Pumpe	2 kW, 10 h = 20 kWh		20 kWh
Zuführungseinheit	2,5 kW, 8 h = 20 kWh	20 kWh	
Handlingseinheit	8 kW, 8 h = 64 kWh	64 kWh	
KSS-Filteranlage	5 kW, 10 h = 50 kWh		50 kWh
Absaugung	3 kW, 16 h = 48 kW		48 kWh
Schaltschrank-klimatisierung	2 kW, 16 h = 32 kWh	30 kWh	2 kWh
Kühlanlage	16 kW, 8 h = 32 kWh		32 kWh
Gesamtprozess	756 kWh/d	554 kWh/d	202 kWh/d
Anteile in %	100,0	73,0	27,0

Bei diesem Beispiel müssen ggf. noch die Energieanteile einer innerbetrieblichen KSS-Entsorgung, einer Spänezentrifuge sowie der Energieaufwand zur Teilereinigung hinzugefügt werden.

Das Beispiel verdeutlicht, dass neben dem generellen Zusatzaufwand zum Handling, Überwachung und Pflege von KSS auch beim Energiebedarf der KSS-bedingte Anteil an den gesamten Energiekosten nicht unerheblich ist. Insbesondere bei Neuinvestitionen sollten daher die Möglichkeiten des Verzichts auf Kühlschmierstoffe, d. h. die **Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung** in Betracht gezogen werden. Insbesondere durch verbesserte Werkzeugtechnologien (Beschichtungen, verbesserte Oberflächen) können die traditionellen Aufgaben des Kühlschmierstoffs (Schmieren, Kühlen, Spänetransport) inzwischen auch mit diesen Technologien bewältigt werden.

Ausführliche Informationen zur **Technologie und den Einsatzbereichen der Trockenbearbeitung** finden Sie im Kapitel Metallbearbeitung > Bearbeitungsverfahren > spanende Bearbeitung > Trockenbearbeitung.

Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung als Alternative zur konventionellen Nassbearbeitung sind nicht nur deutlich energieeffizienter (die ganzen mit dem KSS-Kreislauf verbundenen Aggregate fallen weg), sondern weisen auch Vorteile bezüglich des Umwelt- und Arbeitsschutzes auf. Bei vielen Prozessen kann zusätzlich die **Bearbeitungseffektivität gesteigert** werden.

Mitte 2009 wurde ein neues **Verbundforschungsprojekt** „Energieeffiziente Feinbearbeitung mit geometrisch unbestimmter Schneide und Minimalmengenschmierung“ unter der Federführung von Volkswagen, Werk Salzgitter gestartet. Die Projektträgerschaft liegt beim Forschungszentrum Jülich.

Optimierungsmöglichkeiten bei einzelnen Komponenten

- **Pumpen**
  - Häufig wird sehr großzügig mit Kühlschmierstoffen umgegangen. Da die Menge auch die erforderliche Pumpleistung bestimmt, **sollten Sie die KSS-Menge generell auf das erforderliche Maß reduzieren**.
  - Installieren Sie eine **bedarfsorientierte Leistungssteuerung** der Versorgungspumpen. Da der KSS nie gleichmäßig über den gesamten Produktionszyklus benötigt wird, laufen die Pumpen sonst unnötig gegen den hydraulischen Widerstand, mit hohem Energiebedarf.
  - Setzen Sie bei Ersatz und Neuinvestitionen **Elektromotore des Energieeffizienzniveaus 3** ein.
  - Effektive Pumpsysteme bedeuten auch einen geringeren Wärmeeintrag in den Kühlschmierstoff, das **entlastet gleichzeitig Ihr Kühlsystem**.

Bild: Pumpstationen bei der KSS-Zentralversorgung im Mercedes-Benz Werk Stuttgart

Quelle: Kiechle A., Daimler AG, Vortrag Ressourceneffizienz bei Kühlschmierstoffen 02-2009

- **Filteranlagen und KSS-Pflegeeinrichtungen**

Grundsätzlich sollte der Energiebedarf bei der Auswahl von Filtrationseinrichtungen mit in die Bewertung einbezogen werden.

- Generell kann man sagen, dass KSS-Emulsionen und -Lösungen (wassergemischte KSS) hinsichtlich Pflege- und Wartung aufwendiger, auch energieaufwendiger, sind als KSS-Öle.
- Insbesondere bei hohen Anforderungen an die KSS-Qualität (Filterfeinheit, Temperaturstabilität) sind **Zentralanlagen energetisch günstiger** als eine Vielzahl von Einzelversorgungen.
- **Filtereinrichtungen, die mit Schwerkraft** arbeiten (z. B. Lamellenschrägklärer, Bandfilter), sind energetisch vorteilhaft. Eventuelle Systemnachteile wie z. B. Baugröße, Filterfeinheit müssen bei einer ganzheitlichen Betrachtung einbezogen werden. Sowohl technisch, als auch was die Energieeffizienz anbetrifft haben sich Systeme bewährt, bei denen der Feinanteil im Bypass ausgefiltert wird. Der Hauptstrom läuft dabei energetisch günstig über einfachere Filtrationseinrichtungen.
- Systeme, die mittels Energie künstlich eine verstärkte Schwerkraft erzeugen, z. B. **Drei-Phasen-Separatoren oder Hydrozyklone sind energetisch sehr aufwendig**. Sie sollten daher nur eingesetzt werden, wenn keine energetisch günstigeren Alternativen bestehen.

Absauganlagen und Ölnebelabscheider

Der Energiebedarf bei Absauganlagen wird im Wesentlichen vom Luftvolumen und dem Strömungswiderstand im System bestimmt.

- In der **bedarfsorientierten Reduzierung** des abzusaugenden Luftvolumens auf das notwendige Maß liegt ein großes Potenzial. Häufig sind Absauganlagen zu groß ausgelegt „um auf Nummer sicher zu gehen“.
- Die **Erfassung der Emissionen** sollte möglichst dicht an der Entstehungsstelle erfolgen und die Absaugung **strömungsgünstig** ausgelegt sein. Strömungsverluste durch ungünstige Konstruktionen, zu große Arbeitsräume, Widerstände in den Rohrleitungen (Ablagerungen, häufige Umlenkung, Verengungen) und in den Abscheidern (verschmutzte Siebe) sind häufige Ursache für zu hohen Energieverbrauch oder uneffektive Absaugsysteme.
- **Bedarfsorientierte Ansteuerung**: Die Maschinenraumabsaugung sollte nur im Bedarfsfall eingeschaltet sein. Insbesondere bei zentralen Absaugsystemen läuft die Absaugung meist ungesteuert mit.
- **Energieeffiziente Lüftermotoren** bei Absauganlagen amortisieren sich schnell, da diese in der Regel lange Betriebszeiten haben.

Temperierung / Kühlung

Als Faustregel kann man sagen, dass bei den derzeit verwendeten Bearbeitungsmaschinen nur ca. 1/3 der in den Kühlschmierstoff eingetragenen Wärme aus dem eigentlichen Bearbeitungsprozess resultieren. Ca. 2/3 sind Wärmeeinträge über Motoren und Nebenaggregate.

- Das größte Potenzial zur energetischen Optimierung von Kühleinrichtungen liegt daher in der **Reduzierung bzw. Vermeidung von Wärmeeinträgen**. Beispiele sind energieeffizientere Spindeln, energieeffiziente Ventile und eine verbesserte Wärmeabführung z. B. von Antriebsmotoren. Da dies dann in der Regel auch mit einem reduzierten Energieverbrauch verbunden ist, ergibt sich bei diesen Maßnahmen dann oft ein **doppelter Einspareffekt**.
- **Zentrale Systeme sind effektiver als dezentrale**. Der unterschiedliche Kühlbedarf verschiedener Maschinen gleicht sich aus, so dass das Kühlsystem in der Summe auf eine geringere Leistung ausgelegt werden kann.
- **Abwärmerückgewinnung**: Auch wenn das Temperaturniveau mit in der Regel unter 30 °C für die meisten Anwendungen zu niedrig ist, so sollte beim Fehlen von anderen Abwärmequellen auch die Rentabilität einer Zuluftvorwärmung in den Wintermonaten geprüft werden.

KSS-Entsorgung

Die Aufarbeitung von verbrauchten KSS-Emulsionen oder KSS-Lösungen in einer **innerbetrieblichen Abwasserbehandlungs- oder Emulsionsspaltanlage** ist meistens erst ab einem Aufkommen von 200 m³/a wirtschaftlich. Hinweise zu geeigneten Verfahren finden Sie im Kapitel Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Kühlschmierstoffe > Entsorgung.

- **Standzeitverlängernde Maßnahmen** sind, auch unter energetischen Aspekten, in jedem Fall effizienter als eine kostengünstige Entsorgung. Maßnahmen zur Standzeitverlängerung finden Sie im Kapitel Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Kühlschmierstoffe > wassermischbare Kühlschmierstoffe > Abfallvermeidung.
- Von den gängigen Emulsionsspaltverfahren ist die **Ultrafiltration das energieeffizienteste breit einsetzbare Verfahren.** Bei der organischen Spaltung wird zwar nur eine geringe Energiemenge benötigt, jedoch zusätzliche Chemikalien und die Anwendbarkeit ist eingeschränkt.

Nebenaggregate

Neben den eigentlichen Produktionsprozessen und Bearbeitungsmaschinen werden auch in metallverarbeitenden Betrieben viele zusätzliche Geräte und Anlagen betrieben. Deren **Energiebedarf** kann in der Summe einen erheblichen Anteil des Energieverbrauchs ausmachen. **Erzeugung und Anwendungen von Druckluft** sind mehr oder minder in jedem Betrieb von Bedeutung. Dieser Bereich wird daher übergreifend im Kapitel Metallbearbeitung > Nebenprozesse > Druckluft und spezielle energetische Aspekte in metallverarbeitenden Branchen auf der Seite Metallbearbeitung > Energieeffizienz > Druckluft (int. Link zur Seite Energieeffizienz Druckluft) behandelt. Die nachfolgenden Abschnitte sollen Ihnen Ansatzpunkte zur **Reduzierung des Energiebedarfs bei Nebenaggregaten** aufzeigen und damit einen Beitrag zur Senkung der Energiekosten liefern, z. B. bei Absaugeinrichtungen, Kühlsystemen, Pumpen, Hydraulikaggregaten usw.

Ventilatoren und Absaugeinrichtungen

Bei Absaugeinrichtungen sowie Be- und Entlüftungsanlagen, z. B.

- Absaugung von **Schleifstäuben** und KSS-Nebel beim Schleifen,
- Absaugeinrichtungen in **Strahlkabinen**,
- Absaugung von Schweißrauch an **Schweißarbeitsplätzen**,
- Absaugung von Dämpfen und Gasen von **Behandlungsbädern** vorwiegend im Bereich der Oberflächenbehandlung,

die oft auch in Kombination mit Filtereinrichtungen eingesetzt werden, werden Ventilatoren unterschiedlicher Bauart eingesetzt.

Bild: Absaugung von Schweißrauch

Quelle: VMBG, Berufsgenossenschaftliche Information BGI 593

Für die **Energieeffizienz von Ventilatoren** sind in erster Linie die richtige **Dimensionierung**, bezogen auf das gewünschte Fördervolumen, und der richtige Einbau bzw. der **Druckverlust in den Luftkanälen** ausschlaggebend.

Der Druckverlust ist in Kanälen mit eckigem Querschnitt höher als der in runden, er steigt mit der Länge und ist umso höher, je öfter die Strömung ihre Richtung wechseln muss.

Da der **Energieverbrauch eines Ventilators quadratisch mit dem Volumenstrom zunimmt**, sollte die bewegte Luftmenge möglichst klein gehalten werden. Bei der Absaugung von schädlichen Gasen kann die zu befördernde Luftmenge beispielsweise durch gezieltes Absaugen am Entstehungsort oder durch teilweise Einhausung deutlich gesenkt werden.

In zweiter Linie ist die **Effizienz des Motors und der Motorsteuerung** für den Energieverbrauch maßgebend. Insbesondere bei Ventilatoren im Dauerbetrieb und bei schwankender Luftfördermenge kann ein effizienter Motor, beispielsweise ein geregelter EC-Motor, erhebliche Einsparungen über die gesamte Lebensdauer erbringen. Schon bei **Betriebszeiten von mehr als fünf Stunden pro Tag** lohnt es sich mehr Geld für die Investition auszugeben und hernach im Betrieb deutlich mehr zu sparen.

Elektromotore sind in insgesamt 5 Effizienzklassen aufgeteilt. Mindestanforderungen an Elektromotore sind in der **Verordnung 640/2009** zum **EVPG** festgelegt.

Kühlsysteme für Maschinen und Anlagen

Viele Bearbeitungsmaschinen **insbesondere Laserschneidanlagen und Pressen erzeugen große Mengen an Abwärme**, die teilweise über Kühlgeräte abgeführt werden muss.

Oft ließe sich der Kühlbedarf deutlich reduzieren, wenn die **Energieeffizienz der jeweiligen Maschine verbessert** wird. Solche Investitionen **rechnen sich doppelt**: Einerseits über den reduzierten Energiebedarf der Maschine und zusätzlich kann die erforderliche Kühlanlage kleiner dimensioniert oder im Idealfall ganz darauf verzichtet werden. Ansatzpunkte zur Steigerung der Energieeffizienz bei Werkzeugmaschinen finden Sie auf der Seite Metallbearbeitung > Energieeffizienz > Bearbeitungsmaschinen. Meist werden für jede Maschine einzelne Kühlaggregate betrieben. Sind mehrere Maschinen mit Kühlbedarf installiert, ist es in der Regel wirtschaftlicher eine **zentrale Kühlanlage** für mehrere Maschinen zu betreiben. **Bei der Maschinenplanung muss daher auch immer der Kühlbedarf berücksichtigt werden und ggf. anstatt mehreren dezentralen eine zentrale Kühlanlage vorgehalten werden**.

Mit bedacht werden sollte, dass **Abwärme auch immer eine potenzielle Energiequelle** darstellt, die z. B. im Winter direkt zu Heizzwecken genutzt werden kann. Auch bei niedrigem Temperaturniveau der Abwärme kann die Energie z. B. durch Einsatz einer **Wärmepumpe** zu Heizzwecken genutzt werden.

Klimatisierung z. B. bei Präzisionsfertigung und in Messräumen

Bei der Herstellung von Teilen mit **sehr hohen Genauigkeitsanforderungen und in Messräumen** erfordert der Prozess eine **enge Temperaturspanne**. Teilweise reicht es dabei nicht mehr aus, die einzelne Maschine zu temperieren. In diesen Fällen ist eine Klimatisierung des Raums erforderlich. Je nach Umgebungsbedingungen können Klimaanlagen große Energiefresser sein. Unter Berücksichtigung folgender Hinweise lässt sich der **Energiebedarf in vielen Fällen deutlich senken**:

- **Temperatur möglichst nahe der üblichen Umgebungstemperatur** einstellen. Oft nur aus Tradition oder Gewohnheit wird die Temperatur in klimatisierten Räumen bei 20 °C eingestellt. Erkundigen Sie sich bei Ihrem Gerätehersteller, ob z. B. Ihre Messeinrichtung auch auf 22 °C geeicht werden kann.
- **Räume so weit wie möglich eingrenzen**, z. B. durch Abhängen der Decke.
- **Gute Isolierung** nach außen, auch innerhalb des Gebäudes.
- **Vermeiden Sie Wärmeeinträge**; Geräte und Anlagen mit Abwärme nach außerhalb des klimatisierten Raumes verlagern.

Rechner und Serverräume müssen heute nur noch eingeschränkt unter klimatisierten Bedingungen betrieben werden. Während Serverräume noch vor 10 Jahren auf ca. 20 °C gehalten werden sollten, so sind bei den heutigen Anlagen Raumtemperaturen von 25 °C kein Problem mehr. Wichtiger ist, dass die **Rechner gut belüftet** werden, so dass sich kein Wärmestau bilden kann. In Bereichen mit erhöhtem Staubanfall oder auch bei ölhaltiger Luft sollten Sie hierzu die Schutzgitter der Lüfter von Zeit zu Zeit auf Verschmutzungen prüfen und gegebenenfalls reinigen.

Pumpen für Betriebs- und Hilfsstoffe

In allen Anlagen in denen Flüssigkeiten bewegt werden sind Pumpen installiert. Dies gilt u. a. für Kühlschmierstoff-Versorgungen und Hydraulikanlagen, für Phosphatier- und Reinigungsbäder sowie natürlich auch für das Heizsystem. **Kühlschmierstoffe (KSS)** werden in fast allen metallverarbeitenden Betrieben verwendet. Ansatzpunkte zur **Energieoptimierung bei der KSS-Versorgung** werden daher auf einer eigenen Seite Metallbearbeitung > Energieeffizienz > KSS-Versorgung behandelt. Über die Art, den Verbrauch und die Einsatzdauer der vorhandenen Pumpen sind in den Unternehmen nur selten detaillierte Informationen verfügbar. Viele Pumpen laufen ungeregelt im Dauerbetrieb. **In den meisten Fällen refinanziert sich der Austausch alter, ungeregelter Pumpen mit hohen Einsatzzeiten gegen neue, geregelte innerhalb weniger Jahre.**

Bild: Geregelte Energiesparpumpe für Heizkreisläufe

Foto: ABAG-itm. Pforzheim

Jedes Unternehmen sollte Kenntnis über die eingesetzten Pumpen haben. **Sinnvoll ist z. B. die Erstellung eines Pumpenkatasters, in dem der Pumpentyp, die Nennleistung und die (geschätzte) Einsatzdauer erfasst werden.** Anhand einer solchen Übersicht können die jeweiligen Betriebskosten abgeschätzt und mögliche Neuinvestitionen gegen gerechnet werden.

Transport- und Zuführeinrichtungen

Anlagen mit mehreren Bearbeitungsstationen und hohem Automatisierungsgrad sind in der Folge mit **Transport- und Zuführeinrichtungen** verbunden. Der Energiebedarf dieser Nebenaggregate wird selten erfasst, geht aber mit in die Betriebskosten ein.

Für Antriebsaufgaben sind elektrische Antriebe am energieeffizientesten. Als Faustformel gilt, dass

- **Hydraulikantriebe die doppelte Energie** und
- **Druckluftantriebe etwa die zehnfache Energie** benötigen, wie moderne Elektromotore.

Insbesondere bei Neuplanungen und Neuinvestitionen sollten Sie daher unter **Einbeziehung der abgeschätzten Energiekosten** einen Systemvergleich über die Lebensdauer, z. B. 5 Jahre machen. Es zeigt sich, dass Druckluftantriebe dann nur bei seltener Nutzung und kurzen Einschaltzeiten wirtschaftlich sind.

Bei **Förderbändern** ist der Reibungswiderstand maßgeblich für deren Energieverbrauch. **Rollen sind wesentlich energieeffizienter als Gleitschienen.** Auch hier sollten Sie bei Neuinvestitionen den Energiebedarf der jeweiligen Systeme vergleichen und in die Bewertung mit einbeziehen.

Wärmebehandlung

Bei Betrieben in denen **Anlagen zur Warmumformung oder Wärmebehandlung** betrieben werden haben die Energiekosten in der Regel einen höheren Anteil an den Betriebskosten als bei spanenden Bearbeitungsverfahren. In beiden Fällen müssen die Werkstücke oder Teile auf Prozesstemperaturen, bei Stählen in der Regel im Bereich von 500 bis zu 1.000 °C, aufgeheizt werden. Je nach Bauteil und Prozess erfolgt die Bearbeitung oder Behandlung im Chargenbetrieb oder in einer Durchlaufanlage.

Neben den Prozessen zur **Warmumformung**, die im Kapitel Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Warmumformung behandelt werden, werden im Bereich der Metallbearbeitung insbesondere folgende Wärmebehandlungsprozesse eingesetzt:

- **spannungsfrei Glühen** nach Umformprozessen insbesondere Walzprozessen,
- **Härten und Anlassen** mit verschiedenen Verfahrensvarianten, je nach Aufgabenstellung und Werkstoff. Auf die Umweltaspekte der verschiedenen Verfahrensvarianten wird im Kapitel Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Oberflächenbehandlung > Härten eingegangen.
- **Oberflächenbehandlung**, z. B. Nitrieren
- **Löten**, insbesondere Hartlöten

Vorwiegend für kleinere Teile sowie für Bandmaterial werden häufig **Durchlauföfen** eingesetzt. Mit diesen lassen sich kontinuierliche Prozesse realisieren. Energetisch gesehen haben Durchlauföfen den Vorteil, dass der eigentliche Ofen beim Durchlauf immer auf Prozesstemperatur gehalten werden kann. „Nur“ die Teile und die Fördereinrichtung (meist ein Gliederband) müssen jeweils aufgeheizt und wieder abgekühlt werden. Nachteilig ist, dass Durchlaufsysteme am Ofenein- und -ausgang offen sind. Um Sauerstoff in der Ofenatmosphäre auszuschließen werden die Öffnungen oft mit einem zusätzlichen Flammschleier beaufschlagt. In diesen Bereichen entstehen daher Abwärmeströme, die sich, auch aufgrund des hohen Temperaturniveaus, gut für eine Abwärmenutzung eignen.

Bild: Flammschleier bei einem Härteofen

Foto: ABAG-itm, Pforzheim

Bild: Härteofen für Schüttgüter

Foto: ABAG-itm, Pforzheim

Bei Durchlauföfen hat die durchgesetzte Masse (Werkstücke + Fördereinrichtung) einen wesentlichen **Einfluss auf den Energieverbrauch**. Die Fördereinrichtungen sollten daher **möglichst wenig Masse** aufweisen.

Eine energiearme Verfahrensvariante zum Härten und auch zum Hartlöten ist das Induktionshärten. Bei diesem Verfahren wird nur das Werkstück bzw. bei Bedarf auch nur ein Abschnitt eines Werkstücks induktiv aufgeheizt. Das Verfahren wird im Kapitel Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Oberflächenbehandlung > Härten > Induktionshärten mit seinen Umweltaspekten beschrieben.

Reduzierung von Wärmeverlusten

Ein wesentlicher Aspekt zur **Reduzierung der Wärmeverluste** bei allen Ofentypen ist **eine gute Isolation**. Insbesondere bei Neuinvestitionen sollten Sie hierauf ein besonderes Augenmerk richten. Das betrifft nicht nur den eigentlichen Ofenkörper, sondern insbesondere auch **Durchführungen, Halterungen sowie Armaturen und Leitungen**.

Mit der Isolation von Öfen und Leitungen kann mit vergleichsweise wenig Aufwand viel Energie gespart werden!

Grafik: Reduzierung von Wärmeverlusten durch Isolationsmaßnahmen

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim in Anlehnung an www.energie.ch

Maßnahmenbeispiel Temperaturabsenkung

Die landläufig noch häufig vertretende Meinung, dass das Wiederaufheizen eines Ofens mehr Energie verbraucht, als diesen auf Temperatur zu halten ist falsch. Grundsätzlich gilt: Je geringer die Temperaturdifferenz zwischen der Anlage und der Umgebung ist, desto weniger Energie wird benötigt. Eine Temperaturabsenkung bei Durchlauföfen bei Produktionsunterbrechungen und Pausen rechnet sich daher. Eine gute Ofensteuerung kann mit dem richtigen „Timing“ die Temperatur so weit absenken, dass die Anlage bei gegebener Heizleistung zum gewünschten Zeitpunkt wieder auf Solltemperatur ist.

Je nach Konstruktion kann die Lebensdauer der Retorte bei häufigen Temperaturänderungen leiden. Sprechen Sie daher die geplanten Maßnahmen mit Ihrem Anlagenhersteller ab.

Abwärmenutzung

Bei Öfen und Wärmebehandlungsanlagen entstehen häufig **große Mengen an Abwärme**, die über die Anlage und die behandelten Teile überwiegend an die Umgebungsluft abgegeben werden. Im Sommer resultiert daraus zusätzlich ein **verstärkter Bedarf an Hallenbelüftung**, der wiederum mit Energiebedarf verbunden ist. Da die Abwärme überwiegend diffus und auf einem niedrigen, für eine direkte Wärmerückgewinnung oft wenig interessantem, Niveau ist gestaltet sich die Abwärmenutzung meist schwierig. Zur Überprüfung von **betrieblichen Nutzungsmöglichkeiten der Abwärme** sollte wie folgt vorgegangen werden:

- Erfassen Sie betriebliche Prozesse und Einrichtungen mit Wärmebedarf (z. B. Reinigungsbäder, Anlagen zur Oberflächenbehandlung, Trockner, Brauchwasser, Raum- und Hallenheizung).
- Schätzen Sie den jeweiligen Energiebedarf, die Bedarfszeiten, das erforderliche Temperaturniveau und die Entfernung zur Anlage bei der die Abwärme anfällt.
- Bestimmen Sie bei Ihrem Ofen bzw. Wärmebehandlungsanlage Bereiche an denen die Abwärme überwiegend anfällt und gegebenenfalls gut erfasst werden kann (z. B. Einlass, Auslass, Kühlwasser, Absaugungen).
- Schätzen Sie die Abwärmemenge, das Temperaturniveau und die Anfallzeiten.
- Erstellen Sie eine Gegenüberstellung von Wärmeanfall und Wärmebedarf.
- Wenn sich eine positive Überdeckung ergibt, so sollten Sie das Einsparpotenzial abschätzen und Möglichkeiten der technischen Realisierung prüfen.

Umsetzungsbeispiel: Abwärmenutzung bei einem Härtedurchlaufofen zur Brauchwassererwärmung und Härtesalzrückgewinnung

In den eingangsseitigen Abluftstrom eines Tunnelofens wurden im Eigenbau einerseits ein Rohrbündel als **Wärmetauscher zur Brauchwassererwärmung** und darüber noch ein Behälter zur **Eindampfung des härtesalzhaltigen Spülwassers** installiert. Die Anlage wird im Dreischichtbetrieb genutzt. Die Abgastemperatur beträgt ca. 250 °C. Die Realisierungskosten der beiden Maßnahmen beliefen sich insgesamt auf ca. 15.000 €.

Bild: Abwärmenutzung bei einem Härtedurchlaufofen

Foto: ABAG-itm, Pforheim

Bild: Zurückgewonnenes Härtesalz

Foto: ABAG-itm, Pforzheim

Der Brauchwasserwärmetauscher erspart eine Heizleistung von ca. 10 kW. Bei Gaskosten von 6 Ct/kWh ergibt sich daraus eine **Heizkostenersparnis von 3.600 €/a**. Im darüber angeordneten Verdunster können täglich ca. 250 l salzhaltigen Wassers eingedampft werden. Bei ca. 200 °C wird das Salz flüssig und kann abgelassen werden. Das Härtesalz ist uneingeschränkt wieder verwendbar.

Die **Salzrückgewinnung ergibt eine Kostenersparnis von ca. 8.500 €/a**. Zusätzlich wird die **Abwasserbehandlungsanlage** entlastet. Kostenersparnis noch einmal ca. **1.500 €/a**.

Die gesamte Maßnahme zur Nutzung der Abwärme des Härteofens hat sich damit in ca. 1,1 Jahren amortisiert.

Koppelung mit Anlagen mit Wärmebedarf

Bei der **Planung von Fertigungslinien**, die eine Wärmebehandlung enthalten, kann durch geschickte Anordnung der einzelnen Anlagen eine **Wärmekaskade** realisiert werden. Dazu sollten Anlagen mit Wärmebedarf auf niedrigem Temperaturniveau, wie beispielsweise eine wässrige Reinigung/Entfettung oder ein Trockner in naher Umgebung, idealerweise über der Ofenanlage, angeordnet werden. Bei einer solchen Anordnung wird der Wärmeverlust des Ofens im Idealfall durch eine gemeinsame Wand als Heizfläche für eine Vorbehandlungsanlage genutzt. In der Praxis wird eine solche Idealkonstellation eher selten zu realisieren sein.

Zumindest **kurze Wege zwischen Abwärmequelle und einer Anlage mit Wärmebedarf** eröffnen bei geringen Investitionen ein breites Feld für eine Optimierung der Energieausnutzung mit langfristig reduzierten Energie- und damit Produktionskosten.

Prozess- und Reinigungsbaeder

Neben der Bearbeitung mit Kühlschmierstoffen werden in metallverarbeitenden Betrieben insbesondere im Rahmen von Reinigungsprozessen und bei der Oberflächenbehandlung Werkstücke in verschiedenen Bädern behandelt. Oft sind diese **Bäder beheizt**. Zusätzliche Energieverbraucher sind Pumpen sowie Reinigungs- und Filtriersysteme. Mit dem Betrieb von Prozess- und Reinigungsbädern kann daher ein **erheblicher Energieverbrauch** verbunden sein. Je nach Produktionsschwerpunkt kann dieser durchaus höher liegen, als der der Werkzeugmaschinen. Neben **Maßnahmen zur Reduzierung des Energiebedarfs** und damit auch der Energiekosten sollten auch nicht vermeidbare Abwärmeströme im Hinblick auf Nutzungsmöglichkeiten zur **Wärmerückgewinnung** geprüft werden.

Bild: Wässrige Reinigung von Tellerfedern vor der Oberflächenbehandlung

Foto: ABAG-itm, Pforzheim

Die nachfolgenden Ausführungen auf dieser Seite betrachten ausschließlich die energetischen Aspekte beim Betrieb von Reinigungs- und Prozessbädern. Auf die Seiten, in denen generell die mit den jeweiligen Prozessen verbundenen Umweltaspekte betrachtet werden, wird jeweils hingewiesen.

Bei **Prozessbädern**, die in der Regel **ohne zusätzliche Beheizung** betrieben werden, wie beispielsweise

- **Kühlschmierstoffbäder**: Emulsionen, Lösungen und KSS-Öle. Siehe auch Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Spanende Bearbeitung > Nassbearbeitung,
- **Spülbäder**, überwiegend als Reinigungsstufe nach wässrigen Behandlungsprozessen,

sind Pumpen, Reinigungs- und Pflegeeinrichtungen sowie erforderlichenfalls eine Kühleinrichtung die Aggregate mit wesentlichem Energiebedarf. Ansatzpunkte sind hier der Einsatz von **energieeffizienten Pumpen** (Motore sowie deren Ansteuerung), die Einbeziehung des **Energieaspekts bei der Auswahl von Filteranlagen** und Pflegeeinrichtungen sowie die **Vermeidung von Wärmeeinträgen** um eine Kühleinrichtung mindestens zu entlasten, im Idealfall unnötig zu machen. Die die Kreislaufführung von Prozessbädern betreffenden Ansatzpunkte sind in der Regel auf die verschiedenen Medien übertragbar. Eine ausführliche Behandlung der genannten Aspekte finden Sie **exemplarisch für den Bereich Kühlschmierstoffe** auf der Seite Metallbearbeitung > Energieeffizienz > KSS-Versorgung.

Bei beheizten Prozessbädern tritt natürlich das Heizsystem bzw. die anlagenspezifischen Wärmeverluste in den Vordergrund. Die oben genannten Ansatzpunkte betreffen (bis auf die Kühleinrichtung) beheizte Systeme gleichermaßen. Beheizte Systeme werden insbesondere bei folgenden Verfahren eingesetzt:

- **Wässrige Entfettungs- und Reinigungsbäder**. Siehe auch Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Reinigung > Wässrige Reinigung,
- **Entfettungs- und Reinigungsprozesse mit Lösemitteln**. Siehe auch Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Reinigung > Halogenfreie Reinigung,
- **Beizen zum Reinigen und Aktivieren von Metalloberflächen** mit Säuren und Laugen, überwiegend als Vorbehandlung vor einer Oberflächenbehandlung. Siehe auch Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Reinigung > Halogenfreie Reinigung,
- **Phosphatieren als Oberflächenvorbehandlung**. Siehe auch Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Oberflächenvorbehandlung > Phosphatieren,
- **Brünieren** als Oberflächenbehandlung bei Stählen. Siehe auch Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Oberflächenbehandlung > Brünieren,
- **Befetten mit Emulsionen** zur Aufbringung eines Ölfilms als Korrosionsschutz. Siehe auch Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Oberflächenbehandlung > Befetten.
- **Die Galvanische Oberflächentechnik** wird als nasschemisches Verfahren mit verketteten Behandlungsbädern (Entfettungs-, Reinigungs-, Beschichtungs- und Spülbäder) in einem eigenen Kapitel Metallbearbeitung > Galvanotechnik behandelt.
- **Das Eloxieren** von Aluminiumteilen wird ebenfalls in einem separaten Kapitel, siehe auch Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Eloxieren, behandelt.

Ansatzpunkte zur Reduzierung des Energieverbrauchs

Der Energieverbrauch beheizter Bäder wird in erster Linie durch das Temperaturniveau, das Beheizungssystem, die Masse der durchgesetzten Teile inklusive des Trägersystems sowie zu einem geringen Anteil durch vorhandene Systeme zur Durchmischung und gegebenenfalls Kreislaufführung (Pumpen usw.) beeinflusst. Die **wesentlichen Entscheidungen werden bei der Beschaffung** getroffen. Beziehen Sie daher den Energieverbrauch bei Investitionen in Neuanlagen in den Entscheidungsprozess mit ein. Fragen Sie Ihre Anlagenhersteller nach **energieeffizienten Verfahrensvarianten** oder Baugruppen und lassen Sie sich die Amortisationszeiten berechnen.

Temperaturniveau und Wärmeverluste

Der Energieverbrauch beheizter Prozess- und Reinigungsbäder steigt, bei ansonsten gleichen Randbedingungen, quadratisch mit der Badtemperatur. Im ersten Ansatz sollten Sie daher prüfen, ob die jeweilige Badtemperatur auch wirklich erforderlich ist. Bei 80 °C bringt eine Reduzierung um 10 °C eine durchschnittliche Energieersparnis von 30 %.

Grafik: Verdampfungsverluste bei Prozessbädern (1 m²)

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Das **Temperaturniveau** von Bädern wird in der Regel von den Chemikalienherstellern vorgegeben und meist als „gottgegeben“ hingenommen, nach dem Motto „das war schon immer so, da können wir sowieso nichts ändern“. Oft können, insbesondere bei Reinigungsbädern, durch andere Badchemikalien die Temperaturen deutlich abgesenkt werden. Fragen Sie also Ihre Chemikalienlieferanten nach **Systemen mit reduzierten Medientemperaturen**.

Bild: Absaugung von Dämpfen bei einem Brünierbad

Foto: ABAG-itm, Pforzheim

Bild: Abdeckung von Bädern mit Kunststoffkugeln

Foto: ABAG-itm, Pforzheim

Neben der Absenkung des Temperaturniveaus besteht das **größte Einsparpotenzial** bei der **Reduzierung der Verdampfungsverluste**. Über die offene Badoberfläche geht oberhalb von 50 °C wesentlich mehr Energie verloren als über die Behälterwandungen und Rohrleitungen. Zusätzlichen Einfluss haben Luftströmungen an der Badoberfläche (Absaugung), bewegte Badoberflächen (z. B. durch Rührer) sowie die Beschickung und Entnahme der zu behandelnden Teile.

Versuchen Sie daher die **offene Badoberfläche möglichst gering** zu halten. Bei neueren Anlagen, insbesondere auch bei automatischen Systemen (z. B. bei Galvaniken und Eloxieranlagen) sind **flexible Badabdeckungen** (Klappen, Rollabdeckungen) inzwischen Stand der Technik.

Aber auch bei bestehenden Systemen lassen sich mit **nachgerüsteten Abdeckungen hohe Einsparungen** erzielen. Auf jeden Fall sollten beheizte Prozessbäder bei **Produktionsunterbrechungen und in der Nacht abgedeckt** werden. Die einfachste Art sind Abdeckplatten, die manuell in Ruhezeiten aufgelegt werden. Hierbei sind die **Information und Motivation der Mitarbeiter** von entscheidender Bedeutung. Eine weitere Alternative sind hohle **Kunststoffkugeln**, die möglichst flächendeckend auf das Bad aufgebracht werden. Die Kugeln sind in unterschiedlichen Größen und mit Temperaturbeständigkeit bis zu 120 °C verfügbar. Der Kugeldurchmesser muss an das Beschickungssystem und die Teile angepasst werden, damit einerseits die Werkstücke nicht aus der Halterung gedrückt und andererseits die Kugeln nicht aus dem Bad geworfen werden.

Neben den zu behandelnden Teilen erfolgt der **Energieaustrag auch über das Beschickungssystem**. Die Masse von Halterungen, oder z. B. Trommeln bei galvanischen Prozessen oder beim Brünieren, sollte daher gering gehalten sowie nach Möglichkeit auf Werkstoffe mit geringer Wärmekapazität (z. B. Kunststoffe) zurückgegriffen werden.

Prozessspezifische Ansatzpunkte

- **Entfetten, Reinigen, Phosphatieren**

Oft werden diese Prozesse in Verfahrenskombination eingesetzt, z. B. vor Beschichtungsprozessen. In Abhängigkeit von der Art und der Menge der Verschmutzung sollte ein **Reinigungssystem mit möglichst geringer Badtemperatur** gewählt werden. Auch bei wässrigen Reinigern gibt es inzwischen Systeme, die bereits bei Raumtemperatur gute Ergebnisse erzielen. Der **Schmutzeintrag sollte möglichst gering** gehalten werden, damit reduziert sich auch der Aufwand zur Kreislaufführung und Badpflege. Dieser Aufwand, auch der mit der **Kreislaufführung verbundene Energieaufwand**, wird über die Auswahl des Reinigungsmediums bestimmt. Beispiel für ein energieeffizientes Reinigungssystem sind demulgierende Reiniger mit einfachen Systemen zum Ausschleusen der aufschwimmenden Ölphase, die energetisch wesentlich besser sind als z. B. zur Badpflege eingesetzte Ultrafiltrationsanlagen.

Bei niedrigen Badtemperaturen bis ca. 50 °C kann auch die **Nutzung betrieblicher Abwärme**, z. B. von Kompressoren als Heizquelle in Betracht gezogen werden.

- **Brünieren**

Eine insbesondere energetisch interessante Verfahrensvariante zum Brünieren, das üblicherweise bei Temperaturen zwischen 60 und 80 °C erfolgt, ist das **Kaltbrünieren**. Diese Verfahrensvariante hat sich insbesondere bei kleinen Bädern und bei zeitlich eingeschränkter Nutzung bewährt.

- **Galvanik**

Neben den bereits angesprochenen Maßnahmen zur Reduzierung des Energiebedarfs bei beheizten Bädern hat sich das in Galvanikanlagen häufig eingesetzte **Sprühspülen als sehr energieintensiv** herausgestellt. Das Sprühspülen sollte daher **nur bei kalten Prozessen bzw. mit kalten Medien** eingesetzt werden. Bei warmen bzw. heißen Medien sind ansonsten die Verdampfungsverluste extrem hoch, es sei denn die Dämpfe können wieder kondensiert und die rückgewonnene Wärme wieder effektiv eingesetzt werden.

- **Eloxieren**

Neben dem Strombedarf beim eigentlichen Eloxierprozess besteht ein hoher Energieaufwand beim Prozessschritt „Verdichten“, der üblicherweise bei Siedetemperatur erfolgt. Eine energiesparende Verfahrensalternative ist das **Kaltverdichten**, das bei ca. 80 °C erfolgt. Zur Reduzierung der Verdampfungsverluste sollten die Bäder möglichst lange abgedeckt bleiben und nur zur Beschickung und Entnahme der Teile geöffnet werden.

- **Befetten mit Emulsionen**

Die Aufbringung eines Korrosionsschutzfilms über Befettungsemulsionen bei 60 – 80 °C wird in der Metallbearbeitung meist nach einer nasschemischen Oberflächenbehandlung, insbesondere dem Brünieren eingesetzt. Neben der Badbeheizung ist im Anschluss noch ein sehr **energieaufwendiger Trocknungsprozess** erforderlich, bei dem der Wasseranteil der an den Teilen anhaftenden Emulsion verdampft werden muss. Als **energiesparende Alternative** sollte die Möglichkeit einer **Sprühnebelbeölung** geprüft werden. Das Verfahren stößt allerdings bei Trommelware und bei Bohrungen, insbesondere Sacklochbohrungen an seine Grenzen, da die Werkstücke an diesen Stellen schlecht zuverlässig benetzt werden können.

Lackier- und Beschichtungsprozesse

In Lackieranlagen wird viel thermische und elektrische Energie verbraucht. Lackierprozesse, unabhängig davon ob pulver- oder naßlackiert wird, umfassen immer vier Stufen:

- Die Vorbehandlung/Reinigung,
- die Haftwassertrocknung,
- die Lackierung und
- das Einbrennen/Trocknen des Lacks.

Für die Trocknungs- und Einbrennprozesse wird in der Regel Öl oder Gas als Wärmelieferant eingesetzt. Strom wird im Wesentlichen für die Flüssigkeitspumpen, insbesondere bei der Vorbehandlung und für die Ventilation verwendet. Ebenfalls strombetrieben sind die Nebenprozesse wie Drucklufterzeugung, Beleuchtung und Hallenbelüftung.

Bei konventionellen Anlagen beträgt das Verhältnis Strom zu Öl/Gasverbrauch ca. 1 : 5. Trockner und Einbrennöfen können auch elektrisch durch Infrarotstrahler beheizt werden. Berücksichtigt werden muss, dass Strom in etwa doppelt so teuer wie Gas oder Öl ist.

Grafik: Schematischer Ablauf des Lackierprozesses

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Energieeinsparmöglichkeiten

Lackieranlagen sind komplexe und individuelle Anlagen. **Auch bei modernen Anlagen kann durch Prozessoptimierung viel Energie eingespart werden.** In diesem Abschnitt können einzelne Themen nur angerissen werden. Beim Anlagendesign und der Optimierung von Anlagen sollten die einzelnen Aspekte intensiv mit dem Anlagenbauer und den Chemikalienlieferanten diskutiert werden.

Kennzahlenbildung

Die Energieeffizienz einer Anlage misst man in der Regel in kWh/m², also verbrauchte Arbeit je m² beschichtete Fläche. Diese Kennzahl wird soweit dies messtechnisch möglich ist für die Gesamtanlage und für die Anlagenteile bestimmt. Es ist sinnvoll diese Werte regelmäßig z. B. täglich oder wöchentlich zu erheben, da so schnell Abweichungen und Störungen festgestellt werden können.

Zum Vergleich verschiedener Anlagen, z. B. als Branchenvergleich, bezieht man diesen spezifischen Energieverbrauch auf den Durchsatz, also die m² beschichtete Fläche je Stunde. Damit wird auch die Anlagengröße berücksichtigt.

Es gibt eine Reihe von Ansatzpunkten zur Senkung des Energieverbrauchs, die auf alle Anlagenkomponenten gleichermaßen zutreffen.

Allgemeine Ansatzpunkte

- **Die Temperaturniveaus in allen Anlagenteilen sollten soweit als möglich gesenkt werden.** Für die Vorbehandlung sind Chemikalien verfügbar, die Temperaturen um die 30 °C erlauben. Es werden zunehmend Niedertemperaturpulverlacke entwickelt, die bei Temperaturen weit unter 200 °C vernetzen und aushärten.
- **Die Energieeffizienz einer Lackieranlage steigt mit der Auslastung und der Größe der Anlage.** Eine ausgelastete kleine Anlage ist besser als eine große, die nur in Teillast betrieben wird. Eine große Anlage ist besser als zwei kleine.
- **Die Beschickung der Trockner- und Einbrennöfen sollte möglichst von unten erfolgen, so genannte A-Öfen.** Hier sind die Wärmeverluste durch das Ein- und Ausbringen der Ware deutlich geringer als bei horizontal beschickten Öfen.
- In allen Anlagenteilen sind teilweise große Pumpen installiert. Da diese Motoren im Dauereinsatz laufen, **sollten hier hocheffiziente Motoren eingesetzt** werden.
- **Die Be- und Entlüftung der Anlagen sollte mit möglichst kleinen Luftmengen erfolgen**, da die Ventilatorenleistung mit der dritten Potenz des Volumenstroms zunimmt. **Auch hier lohnt sich meist die Installation hocheffizienter Motoren.**

Nasschemische Vorbehandlung und Reinigung

Spritzen oder Tauchen

Vor dem Lackierprozess werden die Werkstücke gereinigt und in vielen Fällen auch phosphatiert. In modernen Anlagen erfolgt die Reinigung und Phosphatierung in einer kombinierten **Spritzvorbehandlung**. Die Behandlung findet meist bei ca. 50 °C statt. **Energie verbrauchend ist hier vor allem das Verdampfen der Behandlungsflüssigkeit, das durch das Versprühen deutlich gefördert wird.** Eine energiesparende Variante ist die Tauchbehandlung, hier betragen die Badtemperaturen ca. 70 °C, der Energieverlust erfolgt im Wesentlichen über die Badoberfläche. **Trotz der höheren Temperaturen der Tauchbehandlung sind die Energieverluste deutlich geringer als bei der Spritzbehandlung.**

Der wichtigste Nachteil der Tauchanlagen besteht in den deutlich höheren Durchlaufzeiten.

Grafik: Energieverbrauch einer Spritz- und einer Tauchvorbehandlung

Quelle: Studie LfU Bayern Energieeinsparen (ipa-Stuttgart)

Energieeinsparen bei Spritzvorbehandlung

Bei der Spritzvorbehandlung lässt sich der Energieverbrauch durch die folgenden Maßnahmen deutlich senken:

Kurzfristige Maßnahmen:

- **Abschalten der Pumpen**, insbesondere der Spritzpumpen während Pausen, Transportlücken und bei Förderstillstand.
- Einsatz von Reinigungschemikalien, die eine niedrigere Temperatur erlauben. **Es sind Chemikalien am Markt erhältlich, die bei 30 °C arbeiten.**
- Druckminderung der **Umwälzpumpen durch Frequenzregelung** anstelle von Drosselklappen in den Rohrleitungen.

Maßnahmen im Rahmen von Anlagenoptimierungen:

- **Einbau von Abschottblechen** zwischen beheizten und unbeheizten Zonen zur Minderung des Luftaustausches.
- **Dämmung von Gehäusen, Badbehältern, Rohrleitungen** und Pumpen in den beheizten Zonen.
- Abluftfreier Betrieb durch Einbau eines Kondensationsaggregats mit Wärmerückgewinnung.
- **Nutzung der Abwärme** des Einbrennofens und des Haftwassertrockners.

Haftwassertrockner

Nach der Vorbehandlung sind die Werkstücke nass und werden im so genannten Haftwassertrockner bei 100 – 120 °C getrocknet. Die größten Energieverluste erfolgen über die Schleusenluft und die Aufheizung der Werkstücke. Ein weiterer Verlust entsteht durch den zur Abführung der Feuchtigkeit erforderlichen Luftaustausch.

Einsparmöglichkeiten

- **Insbesondere über die Schleusentechnik kann Energie gespart werden.** Durch die Umstellung von einer **A-Öfen** auf eine A- oder Umluftschleuse werden fast 20 % eingespart.
- Durch **Umstellen auf Gasdirektheizung anstelle der meist üblichen indirekten Beheizung können ca. 10 – 15 % an Energie eingespart werden**. Bei Ölbefeuerung ist eine Umstellung aus Qualitätsgründen nicht möglich.
- **Reduzierung der Trocknerabluft** auf das notwendige Mindestmaß, dies ist im Rahmen der Wartung regelmäßig zu prüfen und neu einzustellen.
- Möglich ist auch eine **Temperatursenkung in Zusammenhang mit einer Luftentfeuchtung** durch Kälte oder Sorption.

Lackierung

Die Einsparmöglichkeiten bei der Lackierung sind vielfältig. **Grundsätzlich ist die Spritzlackierung deutlich energieintensiver als die Pulverlackierung.** Dies ist durch die Beheizung und Umwälzung der Umluft in der Spritzkabine bedingt. Die Umluft ist aus Arbeitsschutzgründen erforderlich, ihre Aufgabe ist es, den Overspray abzutransportieren.

Die Umluftmenge bei der Nasslackierung kann durch Minderung des Oversprays reduziert werden, z. B. durch Anwendung von High-Solid-Lacken, **HVLP**- oder elektrostatisch unterstütztes Spritzen. Details zur Oversprayminderung siehe Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Beschichtung > Nasslackierung.

Lackierung und Aushärtung

Nasslack wird bei ca. 160 °C getrocknet und ausgehärtet, bei Pulverlacken sind meist 220 °C üblich. Für Lacktrockner/Einbrennöfen gilt hinsichtlich des Energieverbrauchs ähnliches wie für die Haftwassertrockner.

Beim Pulverlackieren kann auf Niedertemperaturlacke, die ab 160 °C vernetzen, umgestellt werden, dadurch sind erhebliche Energieeinsparungen möglich.

Für beide Lacksysteme ist die **Umstellung von Umluft- auf Strahlungstrocknung durch Infrarot möglich**. Wasserlacke können durch Mikrowellen energieeffizient vernetzt werden. Wie bei der Haftwassertrocknung ist auch eine Entfeuchtung der Abluft Energie einsparend.

Einsparmöglichkeiten bei der Lackierung:

- **Abschalten der Spritzkabine** während Arbeitspausen,
- **Reduzierung der Luftsinkgeschwindigkeiten** durch Minderung des Oversprays,
- **Wärmerückgewinnung aus der Kabinenabluft**, z. B. durch ein Wärmerad,
- Verwendung **energieeffizienter Ventilatoren und Pumpen**, frequenzgeregelte Motoren.

Einsparmöglichkeiten bei der Lacktrocknung und –Aushärtung

- **Abschalten des Brenners** während Pausen und Förderstillstand,
- soweit technisch zulässig **Umstellung auf Direktbeheizung des Ofens**,
- Nutzung der Abwärme der Brennerabgase,
- **Änderung der Schleusentechnik**. Durch die Umstellung von einer Sparschleuse auf eine A- oder Umluftschleuse werden fast 20 % eingespart.

Beispiel der Modernisierung einer Pulverlackieranlage

Durch die Umrüstung einer bestehenden Pulverlackieranlage durch die Fa. Rippert konnte der Energieverbrauch der Brenner um 50 % gesenkt werden.

Dies wurde durch folgende Maßnahmen erreicht:

- Nutzung der Abwärme der Werkstücke für den Haftwassertrockner
- bessere Isolierung des Haftwassertrockners und des Einbrennofens
- A-Ausführung des Trockners.

Bei 2-Schichtbetrieb und 240 Arbeitstagen ergab sich aus diesen Maßnahmen eine jährliche Einsparung von ca. 38.000 €.

Bild: Modernisierte Pulverbeschichtungsanlage

Quelle: Fa. Rippert, 2009

Absaugung und Klimatisierung

Bei vielen Prozessen in metallverarbeitenden Betrieben entstehen **Stäube, Dämpfe und Gase**, die zum Schutz der Mitarbeiter und der Umwelt möglichst direkt am Entstehungsort erfasst, abgesaugt und, je nach Erfordernis, über eine Abluftfiltrierung oder -behandlung ins Freie abgegeben werden müssen. Im Gegenzug müssen Räume teilweise gezielt mit Frischluft versorgt werden, oft in Verbindung mit einer Beheizung bzw. Klimatisierung. Die **Gebläse für diese Be- und Entlüftungsanlagen** liegen üblicherweise in einem Leitungsbereich von 5 bis 50 kW, bei großen Industrieanlagen auch darüber. Erfahrungsgemäß haben Absauganlagen hohe Betriebszeiten, so dass der Energiebedarf einen **nennenswerten Anteil der Stromkosten** ausmachen kann.

Bild: Absaugung und Filteranlage für Stäube

Foto: ABAG-itm, Pforzheim

In der Praxis sind an einer Absauganlage pro Bereich meist mehrere Maschinen bzw. Arbeitsplätze angeschlossen, z. B.

- **Kühlschmierstoff-Nebel** und Dämpfe von spanenden Bearbeitungsmaschinen
- **Metallstäube** bei der Trockenbearbeitung
- **Schweißrauch** an Handarbeitsplätzen und bei Schweißautomaten
- Dämpfe und Stäube bei der **Warmumformung und in Gießereien**
- Gase und Dämpfe aus Prozessbädern bei der **Oberflächenbehandlung**, Galvaniken, Eloxalanlagen, Brünieranlagen
- Salzhaltige Stäube und Dämpfe bei **Salzbadhärteanlagen**
- Dämpfe und Stäube von **Lackiereinrichtungen**

Ansatzpunkte zur Reduzierung des Energieverbrauchs

Die Betriebszeiten von Absauganlagen richten sich in der Regel nach den betrieblichen Produktionszeiten und werden in der Praxis noch selten bedarfsspezifisch geschaltet oder geregelt.

Bei Neuanlagen sollten Sie unbedingt die **mittelfristigen Betriebskosten** (mindestens fünf, besser 10 Jahre) in die Bewertung der Investition mit einbeziehen. Lassen Sie sich von den Anlagenlieferanten **Vorschläge zur Verbesserung der Energieeffizienz** unterbreiten. Diese sollten mindestens folgende Aspekte enthalten:

- Verwendung von Motoren der Energieeffizienzklasse 1,
- bedarfsbezogene Ansteuerung bzw. Regelung,
- Verwendung strömungsgünstiger (glatter) Rohre und Verbindungen und
- einen Vergleich bei zentraler und dezentraler Absaugung (z. B. wichtig bei unterschiedlichen Anlagenlaufzeiten).

Beispiel Wirtschaftlichkeit von Hocheffizienzmotoren

Ein 35 kW Radialgebläse für die Hallenabluft läuft 2.000 Stunden/Jahr. Ein Motor mit 94 % Wirkungsgrad anstatt 90 % (Effizienzklasse 1 anstatt Standard) kostet 450 Euro mehr. Im Betrieb werden pro Jahr jedoch nur 67.000 kWh anstatt 70.000 kWh benötigt. Bei einem Strompreis von 8 ct/kWh beträgt die jährliche Einsparung 240 Euro/Jahr. **Die Investition rechnet sich damit bereits nach 1,9 Jahren.**

Bild: 15 kW-Radialgebläse einer Absauganlage

Foto: ABAG-itm, Pforzheim

Bei vorhandenen Anlagen sollten Sie sich einen Überblick über Anschlusswerte und Laufzeiten der Absaug- und Belüftungsanlagen verschaffen und dann folgende Aspekte prüfen:

- Entsprechen die **Einschaltzeiten dem tatsächlichen Bedarf**? Wird die Absauganlage bedarfsbezogen eingeschaltet oder läuft sie der Einfachheit halber den ganzen Tag? Können Absauganlagen bei Produktionspausen (z. B. in der Mittagspause) abgeschaltet werden? Beispiel: Wird eine 10 kW-Anlage für nur ½ Stunde pro Tag ausgeschaltet, so können Sie ca. 1.250 kWh/a einsparen, ohne jeglichen Invest.
- Bei **mehreren Absaugstellen** prüfen Sie die Möglichkeit der Verschließung (automatisch oder manuell) von ungenutzten Absaugstutzen (z. B. wenn eine Maschine nicht produziert). In Verbindung mit einer leistungsbezogenen Regelung des Gebläsemotors lassen sich hier erhebliche Energiekosten sparen und die Absaugwirkung bleibt konstant.
- Erfassen Sie die **Stäube oder Dämpfe möglichst dicht an der Quelle** und vermeiden Sie nach Möglichkeit eine Verbreitung in den Raum. Je direkter die Erfassung erfolgt, desto weniger Luftvolumen muss abgesaugt werden. Der erforderliche Energieaufwand ist proportional zur abzusaugenden Luftmenge.
- An die Absaugung angeschlossene **Filter sollten regelmäßig gereinigt** werden. Bei verstopften Filtern (unabhängig vom Typ) geht viel Absaugleistung nutzlos verloren.
- Achten Sie auf **saubere Luftführungskanäle**. Auch hier gilt, dass der Strömungswiderstand möglichst gering gehalten werden soll, um die volle Absaugleistung nutzen zu können. Insbesondere bei Stäuben bilden sich an Krümmungen leicht Ablagerungen, die regelmäßig entfernt werden sollten. In dieser Hinsicht kritisch sind auch Maschinenraumabsaugungen bei der Anwendung von Minimalmengen-Schmierung. Die feinen Späne und der Ölnebel setzen sich leicht als fester Belag in Absaugleitungen fest.
- **Undichtigkeiten**, insbesondere saugseitige, sollten unverzüglich repariert werden. Bei gleichem Energieaufwand reduziert sich ansonsten die Saugleistung.
- Insbesondere bei Ersatzbedarf: Installieren Sie einen **Gebläsemotor der Effizienzklasse 1**, er rechnet sich meistens schnell, siehe Beispiel oben.

Absaugung von instationären Emissionen

Bei offenen, beheizten Bädern, sowohl bei der nasschemischen Reinigung oder Oberflächenbehandlung als auch bei Salzbadhärteanlagen, besteht häufig das Problem, dass verstärkte Emissionen und damit auch zusätzliche Absaugleistung beim Beschicken und Entnehmen der Teile entstehen. Um die **Absaugleistung gezielt auf den örtlichen und zeitlichen Bedarf** auszurichten, sollte die **Absaugung daher variabel** am Beschickungswagen oder Kran installiert sein. Als übliche Lösung wird hier meistens ein flexibler Schlauch eingesetzt. Nachteilig sind dabei die begrenzte Reichweite, die Strömungsverluste sowie die Anfälligkeit gegen Undichtigkeiten. Ein **Alternativsystem** besteht aus einem fest montierten Luftkanal, der über Gummilippen einen flexiblen Anschluss an den fahrbaren Wagen ermöglicht. Mit diesem strömungsgünstigen System können lange Strecken mit einer variablen Absaugung bedient werden.

Bild: Absaugkanal mit variablem Anschluss an einen Beschickungswagen

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Wärmerückgewinnung bei Abluftableitung ins Freie

Bei der Absaugung, insbesondere von beheizten Bädern und z. B. Prozessen bei der Warmumformung, gehen oft große **Wärmemengen verloren**. Besteht auf der anderen Seite im Betrieb Heizenergiebedarf sollte eine Wärmerückgewinnung über Wärmetauscher geprüft werden. Dies bietet sich insbesondere dann an, wenn Heizenergiebedarf auf niedrigem Temperaturniveau besteht, z. B. zur **Raumheizung oder auch zur Vorwärmung von Zuluft bei Trocknern und Lackieranlagen**. Bei Luftwärmetauschern sollte die Temperaturdifferenz zwischen Abluft und Zuluft mindestens 10 °C betragen.

Abwärmenutzung in metallbearbeitenden Betrieben

Abwärme fällt in vielen Bereichen eines Unternehmens an. Auf den einzelnen Energieseiten dieses Portals sind jeweils die spezifischen Möglichkeiten der Abwärmenutzung dargestellt. Auf dieser Seite wird ein Überblick über die Möglichkeiten gegeben und die Rahmenbedingungen dargestellt, unter denen sich eine intensivere Untersuchung der Nutzung der Abwärme lohnt.

Es ist jedoch zu beachten: Egal wie gut die Abwärme auch genutzt wird, die Vermeidung von Abwärme ist immer die deutlich bessere Maßnahme zur Energieeinsparung!

Wo fällt Abwärme an?

Abwärme fällt praktisch bei jedem technischen Prozess an. Auch die elektrische Energie, die beispielsweise einem Spindelantrieb zugeführt wird, wird nahezu vollständig in Wärme überführt. Nur ein kleiner Teil der Energie, meist nur wenige Prozent, wird für den eigentlichen Zweck, in diesem Fall die Zerspanung, aufgewendet. Der überwiegende Teil wird mehr oder weniger diffus an die Umwelt abgegeben.

Bild: Lasermaschinen produzieren viel Abwärme

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Mögliche Quellen von Abwärme in der Metallbranche:

- Abwärme von Werkzeugmaschinen, Kompressoren und Motoren,
- Abwärme von speziellen Bearbeitungsprozessen, z. B. Laserbearbeitung, Kunststoffspritzen oder Pressen,
- Abwärme beheizter Bäder,

- Abwärme von Öfen und Trocknern,
- Abgase von Brennern,
- Kühlwasser z. B. von Härteöfen, Gießprozessen und anderen thermischen Prozessen,
- Hallenabluft.

Dies sind nur einige Beispiele für möglicherweise lohnende Abwärmequellen. Geht man in die metallurgischen Prozesse stehen weitere sehr hochwertige Abwärmequellen, wie z. B. aus dem Metallschmelzen, zur Verfügung.

Unter welchen Voraussetzungen lohnt sich die Nutzung von Abwärme?

Auch wenn überall Abwärme zur Verfügung steht, nicht jede Abwärme kann sinnvoll genutzt werden. Bei der Nutzung sind die folgenden Kriterien zu beachten:

- Zuallererst muss eine Nutzungsmöglichkeit für Abwärme bestehen, dabei ist zu beachten, dass ab ca. 50 °C aus Abwärme auch Kälte erzeugt werden kann.
- Abwärme ist umso wertvoller, je höher ihr Temperaturniveau ist.
- Abwärme ist umso effizienter zu nutzen je „dichter“ sie ist, d.h. je höher die spezifische Wärmekapazität (cp) des abwärmeführenden Mediums ist. Mit steigender Wärmekapazität sinkt die Größe des Wärmetauschers, es kann mehr Energie durch die gleiche Fläche übertragen werden.
- Das Temperaturniveau der Abwärme sollte bei Luft mindestes 10 °C über dem der Wärmesenke liegen, bei Wasser und Öl sollte die Differenz mindestens 5 °C betragen.
- Wärmequelle und –senke sollten räumlich möglichst nahe beieinanderliegen. Die Nachfrage und das Angebot von Wärme sollte möglichst zeitgleich auftreten, andernfalls ist eine Zwischenspeicherung der Wärme möglich.
- Eine möglichst direkte Nutzung der Abwärme erhöht den Nutzungsgrad. Die warme Abluft eines Kompressors kann z. B. direkt ohne dazwischen geschalteten Wärmetauscher zur Raumerwärmung eingesetzt werden.
- Es sollte eine Mindestmenge an Abwärme möglichst konstant bereitstehen, so dass sich der apparative Aufwand zur Nutzung der Abwärme auch lohnt.
- Bei der Auswahl der Nutzung möglicher Abwärmequellen sollten zunächst die mit dem höchsten Temperaturniveau und der größten Wärmemenge priorisiert werden.

Typische Beispiele aus der Metallbranche

Kompressorabwärme sollte immer genutzt werden, wenn die Kompressoren dauerhaft in Betrieb sind. Die Wärme kann direkt zur Raumbeheizung oder über einen Wärmetauscher zur Erhitzung von Brauchwasser genutzt werden. Details siehe Metallbearbeitung > Energie > Druckluft

Die Kühlung von „heißen“ Anlagen, wie z. B. Härteöfen oder auch Lasermaschinen erfolgt oft mit Kühlwasser im Durchlauf. Das ist zum einen eine Verschwendung der Ressource Wasser zum anderen wird wertvolle Energie über den Kanal entsorgt. **Bei Pressen wird die Wärme oft über das Medium Öl abgeführt.** Will man die im Kühlwasser oder Öl enthaltene Energie nutzen, ist eine Kreislaufführung des Kühlmediums erforderlich sowie ein möglichst hohes und weitgehend konstantes Temperaturniveau sicherzustellen. Je nach Nutzungszweck sollten bei Wasser mindestens 50 °C, bei Öl 80 °C erreicht werden. Dies wird am einfachsten durch eine entsprechende Durchflussregelung für das Kühlwasser oder Öl erreicht. Diese Maßnahme ist mit dem Anlagenhersteller abzuklären, um Beschädigungen der Anlage zu vermeiden.

Beim Umgang mit Kühlschmierstoffen ist aus Arbeitsschutzgründen in den Arbeitsräumen oft ein **Mindestluftwechsel** einzuhalten. Im Winter wird dadurch ein **großer Teil der Heizungsenergie über Dach abgeführt**. Inzwischen sind relativ kostengünstige **Zuluftwärmetauscher** verfügbar, mit denen die **Abwärme zu 70 % und mehr** von der Abluft auf die Zuluft übertragen werden kann.

Bild: Hallendecke mit Wärmetauschern und Luftkanälen

Foto: ABAG-itm, Pforzheim

Bei allen Arten von Brennern, wie sie z. B. in Einbrennöfen, Trockneren oder Heizungsanlagen eingesetzt werden, geht systembedingt ein Teil der Energie über das Abgas verloren. Es gilt dabei je höher die Nutzwärme ist, umso mehr der eingesetzten Energie geht verloren. Bei einem Einbrennofen mit 220 °C gehen deutlich über 10 % der Wärme verloren, bei einer Heizungsanlage mit 70 °C Vorlauftemperatur unter 5 %. Je höher also die Nutztemperatur von Öfen und Brennern ist, desto mehr Energie kann aus dem Abgas zurückgewonnen werden.

Schaffung von Wärmeverbünden in Industriegebieten oder gemeinsam mit kommunalen Einrichtungen

In vielen Fällen ist in produzierenden Unternehmen zuviel Abwärme vorhanden, die innerhalb des Unternehmens nicht genutzt werden kann. In diesen Fällen kann es sinnvoll sein, Wärmeverbünde außerhalb des Unternehmens zu suchen. So können beispielsweise benachbarte Unternehmen im Gewerbegebiet mit Energie versorgt werden. Sinnvoll ist ein Verbund auch mit kommunalen Einrichtungen wie Verwaltungen, Schulen oder Schwimmbädern und größeren Wohneinheiten. Hier besteht ganzjährig Bedarf an Wärme, insbesondere für das Brauchwasser.

Bild: Gießereien produzieren große Mengen an Abwärme, die sie selbst nicht verwenden können

Foto: ABAG-itm, Pforzheim

Solche Verbünde müssen in den meisten Fällen von außen, z. B. durch die Kommune oder das EVU angeregt werden. Die Unternehmen werden Initiativen in diese Richtung nur in Ausnahmefällen ergreifen, da der Aufwand zur Initiierung und Planung hoch ist und die meisten Unternehmen in Fragen der Abwärmenutzung keinen Kompetenzschwerpunkt besitzen.

Man geht davon aus, dass grundsätzlich 20 – 30 % der insgesamt in einem Unternehmen eingesetzten Energie (Strom Heizöl, Gas) als Abwärme genutzt werden kann. Von dem Bayerischen LfU wurde in Kooperation mit wissenschaftlichen Einrichtungen ein Leitfaden zur Abwärmenutzung für Kommunen entwickelt, in dem das Vorgehen detailliert beschrieben wird.

Für Unternehmen, die große Mengen an Abwärme erzeugen, kann es durchaus sinnvoll sein bei ihrer Kommune einen Wärmeverbund anzuregen.

Sonstige Anlagen und Maschinen

Neben spanenden und umformenden Bearbeitungsverfahren mit Werkzeugmaschinen ergänzen in den meisten Betrieben Reinigungsanlagen sowie **Anlagen zur Oberflächenbehandlung, Prüfsysteme und z. B. Verpackungsmaschinen** den Maschinenpark. Auf Reinigungsanlagen als meist energieintensive Teilprozesse wird auf der separaten Seite Metallbearbeitung > Energieeffizienz > Prozess- und Reinigungsbäder eingegangen. Die nachfolgend betrachteten Beispiele sollen Ihnen Anregungen und Tipps zur Senkung des Energiebedarfs im Gesamtunternehmen auch bei sonst weniger beachteten Anlagen geben.

Generell gilt: Auch bei Anlagen, die nicht dem Kernprozess des Unternehmens zuzuordnen sind, lohnt es sich insbesondere bei Neuanschaffungen aber auch im täglichen Betrieb deren Energiebedarf zu betrachten.

Beispiel Gleitschleifanlagen

Die meisten **Gleitschleifverfahren** wie Entgraten, Grobschleifen, Kantenverrunden, Feinschleifen und Polieren **sind Nassverfahren**, d. h. der Gleitschleifprozess erfolgt unter Zugabe in Wasser gelöster Hilfsmittel, den so genannten Compounds. Das **Prozesswasser wird im Kreislauf** gefahren, was ressourcenschonender und auch energetisch effizienter ist als die früheren Durchlaufanlagen (nicht mehr Stand der Technik).

Neben dem eigentlichen Gleitschleifprozess sind mit einer Gleitschleifanlage daher mehrere **Nebenanlagen zur Kreislaufführung der Gleitschleifflüssigkeit** verbunden, insbesondere Pumpen, Filtereinrichtungen und oft eine Zentrifuge. Bei Beschaffung und Betrieb dieser Einrichtungen sollten Sie auch auf deren Energieverbrauch achten.

Bild: Gleitschleifanlage

Foto: ABAG-itm, Pforzheim

Bild: Kreislaufanlage für Gleitschleifwässer, im Vordergrund die Zentrifuge

Foto: ABAG-itm, Pforzheim

Ansatzpunkte zur Verbesserung der Energieeffizienz bei Gleitschleifanlagen sind:

- Eine energetisch deutlich günstigere Alternative zur Zentrifuge sind **Lamellenschrägklärer**. Nachteilig ist der größere Platzbedarf und ein deutlich größeres Volumen an Kreislaufwasser.
- **Zentrifugen haben einen erheblichen Energiebedarf**. Achten Sie auf die Energieffizienz. Betreiben Sie die Zentrifuge im Chargenbetrieb (nicht immer mitlaufen lassen) und nur zur Entfernung des Feinanteils. Gröbere Partikel besser über Sedimentationsverfahren aus dem Kreislauf ausschleusen. Reinigen Sie die Zentrifuge regelmäßig, insbesondere im Trennspalt (Reduzierung der Reibungsverluste).
- Setzen Sie nach Möglichkeit **Antriebsmotore der Energieeffizienzniveaus 3** ein.
- Druckluftbetriebene Membranpumpen sind zwar im Invest günstiger, aber bei den Betriebskosten deutlich schlechter als **elektrisch betriebene Pumpen**.

Hinweise zu Umweltthemen beim Gleitschleifen, insbesondere was den Umgang mit Gleitschleifflüssigkeiten anbetrifft finden Sie im Kapitel Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Oberflächenbehandlung > Schleifen.

Beispiel Strahlanlagen

Das Strahlen von metallischen Bauteilen und Oberflächen wird primär zu Reinigungszwecken sowie zur Erzielung definierter und strukturierter Oberflächen eingesetzt. Bei der **Auswahl eines Strahlverfahrens** sollten Sie, insbesondere dann wenn es nicht nur sporadisch im Werkstattbereich, sondern als Produktionsverfahren mit langen Betriebszeiten eingesetzt wird, auf die **Energieeffizienz** achten. Wesentliche Energieverbraucher sind die Strahleinrichtung und die Absaugung.

- **Schleuderradstrahlanlagen** benötigen je nach Anwendung bis zu 50 % weniger Energie als Druckluftstrahlanlagen.
- Beim Strahlen mittels Trockeneis ist auch der Energiebedarf zur Herstellung und ggf. Lagerung des Trockeneises zu berücksichtigen.
- Bei variierenden Anforderungen und damit Leistungen lohnt sich die Nachrüstung durch eine **Drehzahlregelung mittels Frequenzumrichter**.
- Die **Absaugung** sollte bedarfsorientiert angesteuert werden, Leerlaufzeiten kosten unnötige Energie. Filterelemente regelmäßig reinigen.
- Insbesondere automatische Strahlanlagen sollten so gesteuert werden, dass sie bei **Unterbrechung der Werkstückzufuhr** stufenweise in den **Ruhezustand** versetzt werden.

Hinweise zu weiteren Umweltaspekten bei Strahlverfahren finden Sie im Kapitel Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Oberflächenbehandlung > Strahlen.

Beispiel Erodieren

Erodierverfahren sind grundsätzlich sehr energieaufwendig. Sie sollten daher nur dort eingesetzt werden, wo z. B. mit spanenden Bearbeitungsverfahren das gewünschte Ergebnis oder die Kontur nicht erzielt werden kann. Dies ist insbesondere bei der Herstellung von Mikrostrukturen der Fall. Bei größeren Bauteilen sollte die **Vorbearbeitung mittels mechanischer Zerspanungsverfahren** geprüft werden.

Der Energiebedarf bzw. die Energieeffizienz von Draht- und Senkerodiermaschinen wird insbesondere bestimmt durch:

- Die Energieeffizienz und Ansteuerung des **Generators,**
- **Pumpen und Filtrationsanlagen** zur Filtration und Kreislaufführung des Dielektrikums,
- Die **Kühlanlage:** Ein energieeffizienter Prozess und eine gute Wärmeabfuhr erlaubt auch eine geringere Dimensionierung der Kühleinrichtung. Wenn vorhanden sollten Erodiermaschinen an die zentrale Kühlanlage angeschlossen werden.
- Die **Absaugung:** Sie sollte über den Bearbeitungsprozess bedarfsorientiert angesteuert werden und somit bei Pausen abgeschaltet sein.

Hinweise zu weiteren Umweltaspekten bei Erodierverfahren finden Sie im Kapitel Metallbearbeitung > Produktionsverfahren > Erodieren.

Beispiel Montage- und Verpackungsmaschinen

Im Anschluss an die Produktion werden heute viele Teile direkt montiert und teilweise kundenspezifisch verpackt. Eine **Montage- und Verpackungsanlage** besteht je nach Komplexität der Aufgabe und **Automatisierungsgrad** aus vielen Einzelkomponenten. Dies sind insbesondere **Transport- und Handlingseinrichtungen** aber auch Vorrichtungen zum Verkleben und Verschweißen, z. B. von Blisterverpackungen. Zur Energieversorgung werden **überwiegend Strom und Druckluft** eingesetzt. Die Erfassung und Optimierung des Energieverbrauchs stellt sich daher in der Praxis oftmals als Detailaufgabe dar.

- Erfassen Sie die Komponenten mit den augenscheinlich **größten Energieverbräuchen** und prüfen Sie den Einsatz energiesparender Aggregate und Ansteuerungen.
- Überprüfen Sie den **Drucklufteinsatz**. Für Antriebsaufgaben sind elektrische Motoren wesentlich effektiver (ca. Faktor 10).
- **Thermische Einrichtungen**, z. B. zum Verschweißen von Blistern und Folien sollten nur für den konkreten Einsatz aufgeheizt sein.
- Bei Unterbrechung der Materialzufuhr sollte die Anlage stufenweise automatisch in den **Ruhezustand** runtergefahren werden. Ohne eine solche Ansteuerung beträgt der Energiebedarf im Stillstand meist noch über 50 %.

Bei Neuinvestitionen sollten Sie den **Energiebedarf mit in die Bewertung aufnehmen** und Ihren Anlagenlieferanten nach Möglichkeiten der Energiereduzierung fragen.

Druckluft - Eine teure Form der Energie

Druckluft wird in fast allen metallbe- und -verarbeitenden Betrieben eingesetzt. Auch im Handwerk wird Druckluft gerne als einfach einzusetzende Energieform verwendet und das, obwohl Druckluft mit deutlichem Abstand die **teuerste Form der Energiebereitstellung** ist. Der **Vorteil der Druckluft** liegt in ihrer vielseitigen, einfachen und ungefährlichen Einsetzbarkeit: Druckluftbetriebene Werkzeuge sind oft kleiner und robuster als elektrische, die "Verkabelung" ist einfach und ungefährlich und pneumatische Steuerungen in Werkzeugmaschinen und Handhabungssystemen haben sich als zuverlässig und robust erwiesen. Zudem kann Druckluft auch in explosionsgeschützten Bereichen gefahrlos eingesetzt werden. **Nachteil sind der hohe Energieaufwand** in Form von Strom und die damit verbundenen Kosten. Allein schon aus wirtschaftlichen Gründen sollte Druckluft daher sparsam und nur dort eingesetzt werden, wo sie ganzheitlich gesehen Vorteile bietet. Wichtig dabei ist, dass bei der jeweiligen Anwendung auch der Energiebedarf über die Lebensdauer in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einbezogen wird.

Grafik: Beispielhafte Energieverluste bei der Drucklufterzeugung und -verteilung bei einem

Quelle: Energieagentur NRW, Projekt-Info „Das Druckluftnetz – ein Energiefresser im Betrieb“

Nur ein Bruchteil des Energieaufwands zur Drucklufterzeugung kann als **Nutzenergie** bei der Anwendung umgesetzt werden. Je nach Einsatzzweck und Randbedingungen liegt die Nutzenergie nur zwischen 1–3 %. In Euro ausgedrückt heißt das: **Bei Stromkosten von ca. 10 C/kWh kostet die Nutzenergie von 1 kWh Druckluft zwischen drei und zehn Euro!**

Wegen der hohen Energiekosten sollte Druckluft nur gezielt und wohl überlegt eingesetzt und alle **Optimierungsmöglichkeiten ausgeschöpft** werden. Informationen zur Drucklufterzeugung, zum Unterhalt und der Optimierung von Druckluftnetzen finden Sie im Bereich Wichtig für alle Branchen > Energie > Energieeinsparung > Druckluft. Dort finden Sie beispielsweise auch Hinweise zur Vermeidung von Leckagen sowie zur Rückgewinnung von Abwärme aus Kompressorstationen. Optimierungshinweise mit Anwendungsschwerpunkt Lackieren finden Sie im Bereich Maler und Stuckateure > Bertiebsanlagen > Drucklufterzeugung.

Grundregeln zum vorteilhaften Drucklufteinsatz

Die Eigenschaften von Druckluft können beispielsweise bei Anwendungen, bei denen über längere Zeit ein aufgebauter Druck genutzt oder die Kompressibilität (Druckelastizität) wichtig ist, vorteilhaft genutzt werden. Beispiel hierfür ist der im nachfolgenden Bild gezeigte, stoßdämpfende Druckluftzylinder einer Abdeckung eines heißen Reinigungsbads (zur Reduzierung von Verdampfungsverlusten). Bei dieser Anwendung kann Druckluft als Energie seine Vorteile voll ausspielen, ohne dass hohe Verbrauchskosten anfallen.

Bild: Druckluftzylinder bei einer Badabdeckung

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Nachteilig sind insbesondere Anwendungen, bei denen sehr oft be- und entlastet wird oder wo Antriebsaufgaben erfüllt werden sollen. Hierbei macht sich der dauernde Luftverbrauch mit hohen Kosten schnell negativ bemerkbar. Für Antriebsaufgaben sind elektrische Antriebe am energieeffizientesten. Für Antriebsaufgaben gilt als Faustformel, dass

- **Hydraulikantiebe die doppelte Energie** und
- **Druckluftantriebe etwa die zehnfache Energie** benötigen,

wie moderne Elektromotoren. Insbesondere bei Neuplanungen und Neuinvestitionen sollten Sie daher unter Einbeziehung der Energiekosten einen Systemvergleich über die Nutzungsdauer, z. B. 5 Jahre, aufstellen. Erfahrungsgemäß zeigt sich, dass Druckluftantriebe dann nur bei seltener Nutzung oder bei sehr kurzen Einschaltzeiten wirtschaftlich sind. Auf der folgenden Seite finden Sie Hinweise, die insbesondere für die Metall- und Elektrobranche in Industrie und Handwerk bedeutsam sind.

Energieeffizienz beim Drucklufteinsatz

Die Einsatzbereiche für Druckluft in produzierenden Betrieben metallverarbeitender Branchen sind traditionell breit gefächert, da Druckluft eine Energieform ist, die sehr flexibel für unterschiedlichste Zwecke verwendet werden kann. Da zur **Drucklufterzeugung die 30- bis 100-fache Energiemenge an elektrischem Strom benötigt** wird, stecken die **größten Umweltpotenziale** in der **rationellen Nutzung**, der **Vermeidung aller Verlustquellen** und dem **Einsatz anderer Energieformen**, die die gestellte Aufgabe insgesamt kostengünstiger und umweltschonender erfüllen können.

Ansatzpunkte zur Verbesserung der Energieeffizienz beim Drucklufteinsatz

Auswahl des richtigen Kompressors

Bei mittleren, teilweise auch bei kleinen Betrieben mit weitgehend konstantem Druckluftbedarf werden heute fast ausschließlich **Schraubenkompressoren** eingesetzt. Dieser Kompressorentyp ist vor allen bei konstantem Druckluftverbrauch und mäßigen bis mittleren Drücken (5 – 10 bar) die erste Wahl. Werden hohe Drücke (über 10 bar) benötigt oder wird Druckluft nur sporadisch benötigt sind **Kolbenkompressoren** vorzuziehen. Dies ist vor allem im handwerklichen und kleinindustriellen Bereich oft der Fall. Kolbenkompressoren arbeiten nur, wenn Druckluft abgerufen wird, dadurch werden kostspielige Leerlaufverluste vermieden.

Das richtige Druckniveau wählen

Grafik: unterschiedliche Druckniveaus

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Gerade in kleineren Unternehmen werden häufig sehr unterschiedliche Druckniveaus von den Druckluftabnehmern benötigt. Beispielsweise

- 4 bar für Lackierpistolen
- 6 bar für Druckluftwerkzeuge
- 10 bar für Schlagschrauber
- bis zu 15 bar für pneumatische Hebebühnen

Druckluftnetze sollten bei möglichst niederem Druck betrieben werden. **Jedes bar Druckerhöhung bedeutet einen 6 – 10 % höheren Energieverbrauch.** Es ist also nicht sinnvoll ein ganzes Netz wegen eines Gerätes bei 10 oder gar 15 bar zu betreiben. Es kann sich durchaus lohnen einzelne „Hochdruckgeräte“ separat mit Druckluft zu versorgen oder sie durch elektrisch / hydraulisch betriebene Geräte zu ersetzen.

Wartung der Anlage und Leckprüfung

Wie jede technische Anlage müssen Druckluftanlagen **regelmäßig gewartet** werden. Dies betrifft den Kompressor aber vor allem auch die Zusatzgeräte, wie Filter, Abscheider und Lufttrockner. Werden diese Zusatzgeräte nicht regelmäßig gereinigt bzw. die Filter gewechselt, steigt der Strömungswiderstand und damit die Energiekosten.

Leckagen bedeuten hohe Energieverluste. Daher sollte das Druckluftnetz regelmäßig auf Dichtheit überprüft werden.

Allgemeine Informationen zum Unterhalt und der Optimierung von Druckluftnetzen finden Sie in Bereich im Bereich Wichtig für alle Branchen > Energieeffizienz > Energieeinsparung > Druckluft .

Nachfolgend sind insbesondere Hinweise für Druckluftanwendungen in der Metallbe- und -verarbeitung zusammengefasst:

Reinigung mit Druckluft

- Druckluft sollte möglichst **nicht zur Reinigung von Maschinen und Werkstücken, zum Abblasen der Späne** und von **Kühlschmierstoffen** (KSS) eingesetzt werden. Zum einen wird hier im Vergleich zu händischen Verfahren sehr viel Energie benötigt. Zum anderen wird durch die Druckluft der Kühlschmierstoff fein als **Aerosol** in der Luft verteilt, wodurch unnötige Gesundheitsbelastungen (s. Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > KSS > Emulsion > Arbeitsschutz) entstehen. Späne lassen sich alternativ mechanisch oder durch Ausspülen entfernen.
- Wird Druckluft zum **Abblasen von Verschleppungen** von Werkstücken, z. B. von Kühlschmierstoff vor dem folgenden Reinigungsbad eingesetzt (um so die Standzeit des Reinigungsbads zu erhöhen), so sollte mit niedrigem Druck gearbeitet werden und über geeignete Prallbleche oder Filter die Abscheidung des Kühlschmierstoffnebels sichergestellt sein. **Alternativen zum Abblasen** sind **längere Abtropfzeiten** oder ein **mechanisches Abstreifsystem**. Prüfen Sie daher, ob derartige Systeme nicht den gleichen Zweck erfüllen können.
- Wenn Sie Druckluft zu Reinigungszwecken einsetzen, benutzen Sie optimierte Düsen, die bei minimalem Luftverbrauch eine maximale Wirkung erzielen. Es sind eine Vielzahl anwendungsspezifischer Düsen für verschiedene Anwendungen am Markt verfügbar, z. B. Mehrkanal-, Flach- oder Ringdüsen. Meist reduzieren diese Düsen gleichzeitig auch den Schallpegel der druckluftanwendung. Informationen erhalten Sie bei den Herstellern von Druckluftgeräten.

Pneumatisch angetriebene Werkzeuge

- Wenn Sie pneumatische Werkzeuge einsetzen, sollten Sie auf den **korrekten Betriebsdruck** achten. Hierbei ist der Fließdruck entscheidend, nicht der statische Druck. Ein Absenken des Drucks unter das vorgeschriebene Optimum senkt zwar den Luftverbrauch pro Zeiteinheit, verlängert aber die Bearbeitungsdauer überproportional. Beispiel: Beim einem korrekten Betriebsdruck von 6,3 bar beträgt die Bohrzeit 2 Sekunden, bei einem Druck von 5,8 bar erhöht sich die Bohrzeit um 60% auf 3,2 Sekunden.
- Die **Anschlussschläuche** der Werkzeuge sollten möglichst kurz gehalten werden. V**ermeiden Sie auf jeden Fall energiefressende Spiralschläuche**. Achten Sie auch auf den korrekten Schlauchdurchmesser und druckverlustarme Kupplungen.

- Setzen Sie **Öler** nur für solche Werkzeuge ein die wirklich eine Schmierung benötigen. Viele turbinengetriebene oder mit ölfreien Lamellenmotoren bestückte Werkzeuge benötigen kein Öl in der Luft. Hier bewirkt das Öl einen Druckverlust.

Grafik: Positiv- und Negativbeispiele zur Druckluftversorgung von Bohrmaschinen

Bohrmaschine mit effektiver Druckluftversorgung "Energievernichter" im Druckluftnetz

Quelle: Druckluft effizient; Fakten zur Druckluft (druckluft effizient)

Pneumatische Steuerungen und Handhabungssysteme

- Insbesondere für Handhabungs- und kleine Robotersysteme lassen sich Steuerungen mit Pressluft mit vergleichsweise wenig Aufwand aufbauen. Erfahrungsgemäß sind hier jedoch die Verluste (Leckagen durch viele Verbindungen, zu geringe Leitungsquerschnitte) besonders hoch. **Der anfängliche Preisvorteil wird so durch hohe Betriebskosten schnell wieder zunichte gemacht**.

Strahlanlagen und -kabinen

- Bei der Oberflächenbehandlung durch Sand- oder Kugelstrahlen wird häufig auch Druckluft eingesetzt. Insbesondere bei häufiger Nutzung sind die Betriebskosten mit Druckluft betriebener Anlagen jedoch höher als Strahleinrichtungen mit Schleuderrad. **Schleuderradanlagen sind um bis zu 50 % energieeffizienter als mit Druckluft betriebene Anlagen.**

Lärmreduzierung

Die Verwendung von Druckluft ist oft auch mit einer erheblichen Geräuschentwicklung verbunden. Insbesondere die Ausströmgeräusche lassen sich durch konstruktive Maßnahmen wirkungsvoll reduzieren. Hinweise zu **Lärmminderungsmaßnahmen** finden Sie im Bereich Metallbearbeitung > Nebenprozesse > Lärm.

Abfallvermeidung bei der Druckluftversorgung

Druckluft wird in den meisten metallbe- und - verarbeitenden Betrieben eingesetzt, der mit ihrer **Erzeugung verbundene Abfallaspekt** findet jedoch nur wenig Beachtung.

Die Drucklufterzeugung erfolgt in Kompressorstationen, wobei je nach Leistungsbedarf und Druckbereich unterschiedliche Kompressorbauarten verwendet werden. In der Praxis findet man vorwiegend Kolben-, Schrauben- und Turbokompressoren. Insbesondere ältere Anlagen, aber auch ein Großteil der Kompressoren neuerer Bauart, erfordern eine Ölschmierung. Dies hat zur Folge, dass Ölnebel in die Druckluft eingetragen wird. Die Druckluft muss zur Vermeidung von Korrosionsschäden zuverlässig entwässert werden. **Das dabei anfallende Kondensat ist in der Regel ölbelastet** (Ausnahme ölfreie Kompressorstationen).

Kompressorkondensate sind in der Regel ölhaltig und damit ein **gefährlicher Abfall**. Sie dürfen auf keinen Fall unbehandelt in die Kanalisation eingeleitet werden!

Da in der Abfallverzeichnisverordnung (**AVV**) kein spezifischer Abfallschlüssel für Kompressorkondensate mehr vorhanden ist, wird als Zuordnung der Abfallschlüssel "13 05 07* öliges Wasser aus Öl-/Wasserabscheidern*" oder - falls der Emulsionscharakter überwiegt - "13 08 02* andere Emulsionen" empfohlen.

Als Alternative zur Entsorgung bietet sich die betriebsinterne Aufbereitung durch geeignete Verfahren an. Wenn Sie bereits eine **Emulsionsspaltanlage**, z.B. zur Spaltung von Kühlschmier- oder Reinigungsemulsionen betreiben, so können Sie die Kompressorkondensate in dieser Anlage ebenfalls behandeln. Andernfalls empfiehlt sich die Aufbereitung mit geeigneten und zugelassenen Kondensataufbereitungsanlagen. **Ziel ist, das Öl aus der Emulsion zuverlässig abzutrennen,** sodass die Wasserphase in die Kanalisation eingeleitet werden kann (Grenzwert Ölgehalt < 20 mg/l). Hierfür haben sich in der Praxis folgende Verfahren bewährt:

- **Statische Öl-Wasser-Trennsysteme**: in so genannten Koaleszenzabscheidern werden die feinen Öltröpfchen zusammengeführt, sodass eine Ölphase (in der Regel < 1% der Kondensatmenge) anfällt, die als **Altöl** entsorgt werden kann. Entsprechende Geräte sind relativ preiswert und in vielen Bauformen verfügbar.
- Aufbereitung durch **Ultrafiltration**: insbesondere für größere Mengen eine verfahrenstechnische Alternative, bei der ebenfalls eine Ölphase abgetrennt wird.
- **Spaltanlagen auf Adsorptionsbasis**: Hierbei werden die Öle an der Oberfläche eines Trennmittels (z.B. Tonerde) angelagert. Dabei entsteht ein ölhaltiger Abfall (**gefährlicher Abfall**). Das Verfahren ist daher nur für kleine Kondensatmengen oder als "Polizeifilter" zu empfehlen.

Bild: Schematische Darstellung eines Öl-Wasser-Trennsystems mit Koaleszenzabscheider

Quelle: Druckluft effizient; Fakten zur Druckluft (Druckluft effizient)

Wenn Sie ein Druckluftnetz betreiben, sollten Sie folgende abfallvermeidenden Maßnahmen ergreifen:

- Prüfen Sie bei Neuinvestitionen, ob ölfreie Kompressoren geeignet sind.
- Leiten Sie anfallende Kompressorkondensate nicht unbehandelt in die Kanalisation ein.
- Wenn Sie bereits eine Emulsionsspalt- oder andere Abwasseraufbereitungsanlage betreiben, die für ölhaltige Abwässer zugelassen ist, so können Sie in der Regel die Kompressorkondensate dort ebenfalls behandeln.
- Achten Sie beim Kauf von Kondensataufbereitungsanlagen auf eine Bauartzulassung, da ansonsten eine kostspielige Einzelabnahme der Geräte erforderlich ist.

Materialeffizienz in metallbearbeitenden Branchen

Die Materialkosten sind einerseits in nahezu allen produzierenden Betrieben ein erheblicher Kostenfaktor mit steigender Tendenz. Auf der anderen Seite wird zunehmend deutlich, dass die Ressourcen, zumindest von einigen Metallen durchaus begrenzt sind. Das Thema **Ressourcenverbrauch** hat demnach zwei Aspekte: Einen betrieblichen, verbunden insbesondere mit den jeweiligen Materialkosten und einen volkswirtschaftlichen, d. h. die langfristige Rohstoffverfügbarkeit für Wirtschaft und Bevölkerung im jeweiligen Land.

Wegen seiner Bedeutung wird das Thema **Materialeffizienz übergreifend für alle Branchen** im Bereich Wichtig für alle Branchen > Materialeffizienz behandelt. Für die Bundesrepublik Deutschland als rohstoffarmes Land sind **Nachhaltigkeit** und die Verbesserung der Energie- und Materialeffizienz wichtige Zukunftsthemen. Beratungen sowie innovative Projekte können daher mit Fördermitteln unterstützt werden. Informationen zu **Fördermöglichkeiten** finden Sie auf der Seite Wichtig für alle Branchen > Materialeffizienz > Förderung.

In **produzierenden Betrieben** liegen die **Materialkosten bei durchschnittlich über 40 %** der Produktionskosten und sind damit die größte Einzelposition, deutlich vor den Personalkosten und fast eine Größenordnung vor den Energiekosten. Speziell für metallbearbeitende Betriebe werden nachfolgend wesentliche Ansatzpunkte sowie einige Beispiele vorgestellt, wie Sie die Materialeffizienz steigern können.

Grafik: Kostenblöcke im produzierenden Gewerbe

Quelle: Graphik ABAG-itm mit Daten des Statistischen Bundesamts 2008

Der gesamte Block der Materialkosten setzt sich dabei aus vier Gruppen zusammen:

- **Rohstoffe**, die im Betrieb zu Produkten verarbeitet wird, wie z. B. Metallrohlinge und -halbzeuge in der jeweiligen Form (Gussteile, Bleche, Rohre, Stangen usw.)
- **Betriebsstoffe** wie z. B. Schmier- und Hydrauliköle, die in der Regel in Produktionseinrichtungen verbleiben, die aber auch in ein Produkt „verbaut“ werden können, wie z. B. Öle oder Fette in ein Getriebe
- **Hilfsstoffe**, wie z. B. **Kühlschmierstoffe** oder Reinigungsmittel, die in Produktionsprozessen eingesetzt und im Prozess meist auch in irgendeiner Form verbraucht werden
- **Zukaufteile**, wie z. B. Lager, Schrauben, Beschläge usw.

In allen Bereichen gibt es Ansätze den Material zu sparen. In der Regel liegt der Mengen- und Kostenschwerpunkt jedoch bei den Rohstoffen sowie bei den eingesetzten Hilfsstoffen.

Graphik: Entwicklung der Stahlpreise 2001 - 2006

Quelle: Statistisches Bundesamt

Bei der Verarbeitung von Halbzeugen und Blechen sind **Materialverluste von ca. 50 %** keine Seltenheit (Späne, Stanzabschnitte). Selbst bei sortenspezifischer Erfassung der Metallabfälle gehen über die Verschrottung im Durchschnitt 85 % des eingekauften Materialwerts verloren.

Beispiel: 1 t Halbzeug (Stangen, Profile usw.) aus dem Werkstoff St 52 kosten ca. 2.000 €, für Späneschrott bekommt man derzeit ca. 300 € (Stand 2011). Das ergibt einen Verlust von 85 % des eingekauften Materialwerts. Wertsteigerungen durch eigene Bearbeitungsprozesse sind dabei noch nicht mit eingerechnet.

Hilfsstoffe werden überwiegend zur Optimierung von Produktionsprozessen eingesetzt. Dabei werden Sie verbraucht (z. B. Ziehöle), aus dem Bearbeitungsprozess ausgetragen (z. B. Kühlschmierstoffe) oder durch thermische Belastung oder Schmutzeinträge im Laufe der Zeit unbrauchbar. Der jeweilige Verbrauch kann aber sehr unterschiedlich sein und die damit verbundenen Kosten werden nur selten erfasst und den jeweiligen Entstehungsprozessen zugeordnet. Auch in diesem Bereich bestehen oft hohe Optimierungspotenziale, so dass der Hilfsstoffverbrauch deutlich gesenkt werden kann.

Es gibt in Deutschland einige Institutionen, die sich intensiv mit der Materialeffizienz befassen: die Deutsche Materialeffizienzagentur (demea), das VDI Zentrum für Ressourceneffizienz und die Effizienzagentur NRW mit dem PIUS-Infoportal. Adressen und Links finden Sie im rechten Block.

Beispiele

Um in einem ersten Ansatz Anhaltspunkte zu mengenmäßigen Materialverlusten und den damit verbundenen Kosten zu bekommen hat sich die folgende Vorgehensweise bewährt:

- Ermitteln Sie die jeweils **fünf bedeutendsten Rohstoffpositionen** (in der Regel Metallhalbzeuge oder Rohlinge)
    - über die verarbeiteten Mengen
    - über die Beschaffungskosten
- Ermitteln Sie jeweils die **mengenmäßigen Materialverluste** über den gesamten Herstellungsprozess (Daten über Einkauf, Entsorgung, Produktionsdaten, Produktverkauf)
- **Bewerten** Sie diese mit den dadurch entstehenden Kosten
- Identifizieren Sie die jeweiligen Herstellungs- bzw. Bearbeitungsprozesse, bei denen die **größten Verluste** entstehen (Späne, Abschnitte, Reststücke, Ausschuss).
- Überlegen Sie sich für diese **Ansatzpunkte zur Optimierung** der Materialausnutzung bzw. Reduzierung der Verluste. Hierbei hat es sich bewährt die Mitarbeiter der Produktion, Konstruktion, Planung und Einkauf mit einzubeziehen.
- Bewerten Sie diese dann überschlägig mit den **erzielbaren Einsparungen** (Potenzial) und stellen diesem dann den erforderlichen Aufwand bzw. Investitionskosten gegenüber.
- Erstellen Sie eine **Prioritätenliste** und beginnen Sie mit den am einfachsten umzusetzenden Maßnahmen. Diese müssen keineswegs das höchste Potenzial enthalten, liefern aber schnell erste sichtbare Erfolge.

Beispiel Stanzprozesse

Beim Stanzen (oder alternativ auch Laserschneiden) fallen meist große Mengen an Stanzabfällen an, einerseits bestimmt durch die Bauteilgeometrie, anderseits durch die Abmessung des Vormaterials. Je nach Art und Werkstoff des Vormaterials (Bleche Streifen, Bandmaterial, Blechcoils) unterliegen die Abmessungen teilweise gewissen Vorgaben. Standardabmessungen sind in der Regel preiswerter als anwendungsspezifische Abmessungen, zudem sind die Beschaffungspreise mengenabhängig. Trotzdem lohnt es sich, insbesondere bei größeren Stückzahlen, Einsparmöglichkeiten durch bessere Materialausnutzung abzuwägen gegen etwas höhere Beschaffungskosten.

Beispiel Ausstanzen von Ronden

Beim Ausstanzen von Ronden aus 4 mm Streifenmaterial fielen ca. 50 % Stanzabfall an. Durch Optimierung der Stegbreiten (Außenstege und Innenstege) und Beschaffung von in der Außenbreite optimierten Vormaterials konnte der Abfall um 18 % auf 41 % reduziert werden. Dazu musste das Werkzeug modifiziert und Vormaterial mit optimaler Bandbreite (52 mm statt 60 mm) beschafft werden.

Bild: Stanzstreifenabfälle

Foto: ABAG-itm, Pforzheim

Das finanzielle Ergebnis brachte bei diesem Einzelteil ein Einsparpotenzial von 1.300 kg/a, entsprechend 2.250,- €/a. Die einmaligen Kosten (Werkzeugänderung) beliefen sich auf 1.500 €. Die höhern Materialbeschaffungskosten auf 350,- €/a. **Die Maßnahme hat sich damit bereits nach 10 Monaten amortisiert.** Maßgeblich für die Einsparpotenziale sind die spezifischen Materialkosten. Je höherwertiger der Werkstoff, desto schneller rechnen sich Maßnahmen zur Steigerung der Materialeffizienz. Oft werden viele Teilevarianten mit ähnlichen Abmessungen hergestellt, die Vorgehensweise kann gut auf weitere Teile übertragen werden.

Beispiel Zuschneiden von Rundmaterial

Zur Bearbeitung von Werkstücken aus Rundmaterial werden Rohlinge bei größeren Durchmessern durch Sägen, bei kleineren Durchmessern häufig durch direktes Abstechen an der Stangendrehmaschine hergestellt.

Bei einer Scheibenstärke von z. B. 30 mm bedeutet ein Abstechmeißel mit 3 mm Breite einen Materialverlust von 10 %, allein durch den Abstechvorgang. Eine Reduzierung auf 2,5 mm **reduziert die Materialverluste um 17 %** auf 8,3 %. Die Erprobung der technischen Realisierbarkeit lohnt sich schnell, da quasi keine Zusatzkosten entstehen.

Bild: Aus scheibenförmigem Rohmaterial hergestellte Strangpressmatrize

Quelle: Fa. WEFA Singen, Singen

Beim Zusägen von Rohlingscheiben sind die Breite des Sägeschnitts sowie das zum Ausgleich von Ungenauigkeiten der Säge erforderliche Aufmaß die wesentlichen Parameter, die den jeweiligen Materialverlust bestimmen. Auch hier lohnt es sich insbesondere bei hochwertigen Vormaterialien beide Parameter auf Optimierungsmöglichkeiten zu untersuchen, so dass der Sägespalt sowie das Aufmaß so gering wie möglich gehalten werden können. **Weitere Beispiele zur Materialeffizienz** finden Sie auf der Seite Wichtig für alle Branchen > Materialeffizienz > Beispiele.

Umwelt- und Stoffstrommanagement schont Ressourcen und mindert Kosten

Unternehmen der Metallbearbeitung und der Galvanotechnik sind material- und energieintensive Betriebe. Bei den Materialien spielen neben dem Rohstoff Metall bzw. den Metallwerkstoffen auch Betriebs- und Hilfsstoffe eine große Rolle, z. B. Kühlschmierstoffe (KSS), Hydrauliköle, Prozessbäder, Lösemittel, Farben/Lacke, Wasser. Der Anteil der Materialkosten an den Gesamtkosten beträgt bei gewerblichen Produktionsbetrieben bis zu 45 % und bietet ein hohes Einsparungspotenzial. Es beträgt fallweise bis zu 20 %. Voraussetzung für den materialeffizienten Betrieb ist ein Ressourcenmanagement, dessen erste Aufgabe – als Teil einer umfassenden Umweltbilanz - in der Erstellung einer Materialbilanz liegt.

Grafik: Kennzahl Metallabfälle eines mehrstufigen Fertigungsprozesses

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Wesentliche Voraussetzung für einen materialeffizienten Betrieb ist ein Ressourcenmanagement. Dessen erste Aufgabe liegt in der Erstellung einer umfassenden Umweltbilanz, in der alle Ressourcenbezüge und –verbräuche erfasst werden.

Die Deutsche Materialeffizienzagentur (demea) fördert mit ihrem Programm „go-effizient“ Potenzialanalysen und Vertiefungsberatung zur Verbesserung der Ressourcen- und Materialeffizienz in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) Bei der demea ist zudem die Software für einen Selbstcheck verfügbar, mit dem im eigenen Betrieb die Materialeinsparungspotenzial aufgespürt werden können.

Beispiel 1 - Stanzprozesse

Beim Stanzen fallen meist große Mengen an Stanzabfällen an, die durch die Bauteilgeometrie und die Abmessung des Vormaterials bestimmt sind. Je nach Art und Werkstoff des Vormaterials (Bleche Streifen, Bandmaterial, Blechcoils) unterliegen die Abmessungen teilweise gewissen Vorgaben. Standardabmessungen sind in der Regel preiswerter als anwendungsspezifische Abmessungen, zudem sind die Beschaffungspreise mengenabhängig. Trotzdem lohnt es sich, insbesondere bei größeren Stückzahlen, Einsparmöglichkeiten durch bessere Materialausnutzung abzuwägen gegen etwas höhere Beschaffungskosten.

In dem betrachteten Betrieb fielen beim Ausstanzen von Ronden ca. 50 % Stanzabfall an. Durch Optimierung der Stegbreiten (Außenstege und Innenstege) und Beschaffung von in der Außenbreite optimierten Vormaterials konnte der Abfall um 18 % reduziert werden. Dazu mussten das Werkzeug modifiziert und Vormaterial mit optimaler Bandbreite beschafft werden. Die Maßnahme hat sich bereits nach 10 Monaten amortisiert.

Bild: Stanzstreifenabfälle

Foto: ABAG-itm, Pforzheim

Beispiel 2 – Kostensenkung durch Materialeinsparung

Ein galvanotechnischer Betrieb hatte für seine Prozesslinie konsequent eine Materialbilanz erstellt. Die anschließende Auswertung zeigte, dass unter anderem die Vorbehandlung (Beizen) material- und kostenintensiv war. Nach mehreren Technikums-Versuchen zur Änderung der Badinhaltsstoffe wurde eine neue Badzusammensetzung gewählt.

Die konsequent fortgeführte Materialbilanz ergab, dass der Beizmittelverbrauch erheblich zurückging und zu einer jährlichen Kosteneinsparung von über 55 % führte.

Grafik: Senkung des Materialbedarfs und der Materialkosten einer Beize

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Nach **EMAS** validierte Betriebe müssen die Kernindikatoren Energieeffizienz (jährlicher Gesamtenergieverbrauch und Gesamtverbrauch an erneuerbaren Energien), Materialeffizienz (jährlicher Massenstrom der verschiedenen Einsatzmengen), Wasser (jährlicher Wasserverbrauch) und Abfall (jährliches Abfallaufkommen) erheben. Informationen über Umwelt- und Energiekennzahlen und über den Aufbau eines betrieblichen Umweltkennzahlensystems finde Sie unter Wichtig für alle Branchen > Umwelt- und Energiekennzahlen verfügbar. Grundsätzliche Anforderungen an Kennzahlen und Kennzahlensysteme sind in der DIN EN ISO 14031 „Umweltmanagement und **Umweltleistung**sbewertung“ und der VDI-Richtlinie 4050 „Betriebliche Kennzahlen für das Umweltmanagement“ enthalten.

Beispiele und Projektberichte zu Materialeffizienzprojekten sind für viele Branchen bei der LUBW im Bereich Stoffstrommanagement und bei der demea zu finden. Insbesondere im Rahmen des LUBW BEST-Intensivprogramms wurden sehr umfangreiche und detaillierte Dokumentationen erstellt. Es lohnt sich daher auf der Seite Praxisbeispiele der LUBW nach Beispielen aus der jeweils eigenen Branche zu stöbern.

Umwelt- und Stoffstrommanagement schont Ressourcen und mindert Kosten

Unternehmen der Metallbearbeitung und der Galvanotechnik sind energieintensive Betriebe. Besonders relevant sind Öfen, Verarbeitungsmaschinen, Druckluftaggregate, Absauganlagen, Raumheizung und, sofern vorhanden, Lackieranlagen. Werden eigene Verbrennungsanlagen für die die Wärmeerzeugung betrieben, so sind auch diese zu berücksichtigen.

Grafik: Energieverbrauch eines metallbearbeitenden Betriebs (Beispiel)

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Der Anteil des Gesamtenergieverbrauchs an den betrieblichen Gesamtkosten beträgt je nach technischer Ausstattung und Produktspektrum in metallverabeitenden Betrieben ca. 2 bis 8 % und in Galvanikbetrieben ca. 10 bis 20 %. Die Einsparpotenziale liegen in Betrieben beider Branchen bei etwa 15 bis 20 %. Voraussetzung für einen energieeffizienten Betrieb ist ein Energiemanagement, dessen erste Aufgabe – als Teil einer umfassenden Umweltbilanz - in der Erstellung einer Energiebilanz liegt.

Wie ein ressourcenschonendes und kostensenkendes Energiemanagement aufgebaut und erfolgreich in die eigene Galvanik eingeführt werden kann, zeigt der Leitfaden „Effiziente Energienutzung in der Galvanikindustrie“ (pdf, 1,75 Mb) des Bayerischen Landesamts für Umweltschutz. Für die Metallverarbeitung können dem Leitfaden „Effiziente Energienutzung in der Metallindustrie“ (pdf, 956 kb) der Energieagentur Nordrhein-Westfalen hilfreiche Informationen entnommen werden.
Weitere Hinweise zudem in der der Studie „CO2-Minderung durch rationelle Energienutzung in der Metallindustrie“ (pdf, 1,56 Mb) des Bayerischen Landesamts für Umweltschutz (LfU).
Maßnahmen zur Einsparung von Energie sind durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) förderfähig, die unter dem Stichwort „Energieeffizienzberatung“ ein Förderprogramm für kleine und mittlere Unternehmen anbietet.

Beispiel

Im betrachteten Betrieb fallen komplex zusammengesetzte Spülwässer an, die thermisch zu behandeln sind (Verdampfung). Zur Vorbereitung einer Investitionsentscheidung wurden Energieaufwand und –kosten der bestehenden Anlage erfasst und mit den Kennwerten möglicher Entsorgungsoptionen verglichen.

Grafik: Energiekennzahlen für die Behandlung von komplexen Produktionsabwässern (Beispiel)

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Nach **EMAS** validierte Betriebe müssen die Kernindikatoren Energieeffizienz (jährlicher Gesamtenergieverbrauch und Gesamtverbrauch an erneuerbaren Energien), Materialeffizienz (jährlicher Massenstrom der verschiedenen Einsatzmengen), Wasser (jährlicher Wasserverbrauch) und Abfall (jährliches Abfallaufkommen) erheben. Informationen über Umwelt- und Energiekennzahlen und über den Aufbau eines betrieblichen Umweltkennzahlensystems finden Sie unter Wichtig für alle Branchen > Umwelt- und Energiekennzahlen. Grundsätzliche Anforderungen an Kennzahlen und Kennzahlensysteme sind in der DIN EN ISO 14031 „Umweltmanagement und **Umweltleistung**sbewertung“ und der VDI-Richtlinie 4050 „Betriebliche Kennzahlen für das Umweltmanagement“ enthalten.

Beispiele und Projektberichte zu Energieeffizienzprojekten sind für viele Branchen bei der LUBW im Bereich Stoffstrommanagement und bei der Deutschen Energieagentur (dena) zu finden. Insbesondere im Rahmen des LUBW BEST-Intensivprogramms wurden sehr umfangreiche und detaillierte Dokumentationen erstellt. Es lohnt sich daher auf der Seite Praxisbeispiele der LUBW nach Beispielen aus der jeweils eigenen Branche zu stöbern.

Galvanotechnik in metall- und kunststoffverarbeitenden Branchen

In Ergänzung zu den formgebenden Produktionsverfahren kommt der **Oberflächenbehandlung** von Werkstücken und Bauteilen eine hohe Bedeutung zu. Die Anforderungen an die Oberflächen unterliegen ständig steigenden Ansprüchen, sowohl von der technischen Seite als auch von der optischen Seite. Neben der Oberflächenbeschichtung mit organischen Überzügen (Lacke, Kunststoffe) auf die im Bereich Metall > Produktionsverfahren > Beschichtung > Lackieren eingegangen wird, nehmen die metallischen Beschichtungen einen hohen Stellenwert ein. Das mit Abstand wichtigste und vielfältigste Fertigungsverfahren zur Erzeugung metallischer Schichten, nicht nur auf metallischen Grundkörpern sondern auch auf Kunststoffen, ist die **galvanische Abscheidung von Metallen aus wässrigen Elektrolyten**.

Galvanikbetriebe unterscheiden sich von anderen metallbe- und -verarbeitenden Betrieben insbesondere durch ausgeprägten Umgang mit Chemikalien, die in der Regel als **Gefahrstoffe** eingestuft sind.

Die Umweltaspekte in galvanotechnischen Betrieben sind Gegenstand der nachfolgenden Seiten. Andere Verfahren zur Erzeugung metallischer Überzüge sind das Feuerverzinken (siehe: Metall > Produktionsverfahren > Beschichtung > Feuerverzinken) sowie CVD und PVD-Verfahren (siehe: Metall > Produktionsverfahren > Beschichtung > CVD/PVD). Gerade am Beispiel der Galvanotechnik lässt sich gut aufzeigen, **wie wichtig eine ganzheitliche Betrachtung bei der Produktionstechnik und der Verfahrensauswahl ist**. Einerseits werden bei galvanischen Verfahren praktisch alle Umweltpfade direkt oder indirekt tangiert (Wasser, Boden, luftseitige Emissionen, Abfälle sowie die Aspekte des Arbeitsschutzes), andrerseits können **mit galvanisch hergestellten Oberflächen vorteilhafte Umwelteigenschaften erzielt werden**. Durch galvanische Beschichtungen werden z. B.

- **Korrosionsschäden vermieden** (Ressourcenschonung)
- **optische Eigenschaften** erzielt oder verbessert (Energieeinsparung)
- **tribologische Eigenschaften** verbessert (Verschleißminimierung)

In einer gut geführten Galvanik war es schon immer eine wichtige Aufgabe, mit den eingesetzten Rohstoffen, Energie und Wasser ressourcenschonend umzugehen, Abfälle zu minimieren sowie Umweltrisiken zu vermeiden.

Bild: Gesamtansicht einer Galvanik

Quelle: Fa. Driesch GmbH, Anlagentechnik

Angesichts der gerade in jüngster Zeit deutlich gestiegenen Rohstoff- und Energiepreise sind umwelt- und ressourcenschonende Maßnahmen mit ein wesentlicher Faktor für den Erhalt der Marktfähigkeit der hergestellten Produkte bzw. des Unternehmens geworden. Bei Rohstoffen und Wasser müssen zu den Beschaffungskosten noch der Aufwand für das Handling sowie die Behandlungs- bzw. Entsorgungskosten der Abfälle berücksichtigt werden. **Der Rohstoffeinsatz mit maximalem Wirkungsgrad und die Minimierung der Verluste sind daher Notwendigkeit und Chance zugleich. Ebenso muss die eingesetzte Energie stetig besser genutzt werden.** Zum einen haben elektrochemische Verfahren technologisch bedingt einen hohen Energiebedarf, zum anderen steigen Energiepreisen tendenziell weiter.

Bei der Vielfalt der Verfahren und der Prozessvarianten ist es wichtig, die jeweils am besten **geeigneten Maßnahmen auszuwählen**, diese dann **im Gesamtprozess sinnvoll zu kombinieren** um damit dann ein **ökologisch und ökonomische tragfähiges Gesamtkonzept** zu erhalten.

Ansatzpunkte hierzu finden Sie sowohl bei den Produktionsverfahren als auch bei den Einsatzstoffen. Bei dieser Aufgabe sollen die nachfolgenden Seiten Sie anleiten sowie mit Informationen, Anregungen und Tipps unterstützen.

Umweltgerechte Produktionsverfahren in der Galvanotechnik

Die Realisierung umweltgerechter Produktionsverfahren in einer Galvanik ist keineswegs immer mit hohen Investitionskosten gleich zu setzen. Vielfach ist es möglich auf technische Einzelmaßnahmen zurückzugreifen. Andererseits können mit einer ganzheitlich orientierten Planung und organisatorischen Maßnahmen, die auch die Aspekte des Umweltschutzes berücksichtigen, umweltschonende Effekte erzielt werden, die sich dann auch als kostengünstig erweisen.

Einige Beispiele: Umweltschutz beginnt bereits bei der Planung und beim Einkauf, z. B. bei einer guten **Abstimmung der zur Verwendung vorgesehenen Chemikalien**. Beim Wasser ist die **Verwendung der richtigen Wasserqualität** ebenso von Bedeutung wie eine geeignete und **abwasserarme Spültechnik**. Eine gute Badführung, möglichst geringe Verschleppungsverluste sowie Regenerierungs- und Rückführungsmaßnahmen, dienen sowohl langen Standzeiten als auch einer guten Nutzung der Prozesschemikalien. Zur **Optimierung des Energieeinsatzes** führt nicht nur ein Wärmetauscher, sondern auch eine leistungsorientierte Energiesteuerung und ein kostengünstiger Strombezugsvertrag.

Ein galvanotechnischer Betrieb oder auch eine Galvanikabteilung innerhalb eines metall- oder kunststoffverarbeitenden Betriebes verfügt in der Regel über die in der nachfolgenden Grafik vereinfachend dargestellten Prozessbereiche.

Grafik: Prozessbereiche in der Galvanotechnik

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Überwiegend verfahrensspezifische Ansatzpunkte und Maßnahmen, z. B. zum ressourcenschonenden Einsatz von Prozess- und Hilfsstoffen und zur Abfallvermeidung werden schwerpunktmäßig im jeweiligen Prozessbereich behandelt:

- Vorbehandlung (z. B. Reinigungs-, Entfettungs- und Beizprozesse)
- Metallisierungsprozesse (verschiedene Verfahren der galvanotechnischen Metallabscheidung)
- Nachbehandlung (z. B. Chromatierungs- und Versiegelungsprozesse)
- Abwasserbehandlung (Behandlung in einer Galvanik anfallender Abwässer und Abfallentsorgung)

Auf wesentliche **übergreifende Themen** oder generell in einer Galvanik zu berücksichtigende Aspekte des Umwelt- und Arbeitsschutzes wird nachfolgend eingegangen.

Immissionsschutz

In galvanotechnischen Anlagen wird häufig mit Chemikalien gearbeitet, von denen eine Gefährdung der Umwelt durch Emissionen ausgehen kann. Generell müssen „Anlagen zur Oberflächenbehandlung von Metallen oder Kunststoffen durch ein elektrolytisches oder chemisches Verfahren mit einem **Volumen der Wirkbäder von 30 m³ oder mehr**" gemäß der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV) nach Spalte 1 genehmigt werden. **Bereits ab einem Volumen der Wirkbäder von 1 m³ ist bei Anlagen zum Beizen oder Brennen eine Genehmigung nach Spalte 2 erforderlich**, wenn **Fluss- oder Salpetersäure** eingesetzt wird.

Bild: Badabdeckung mit Absaugung

Quelle: Fa. Driesch GmbH Anlagentechnik

Brand- und Explosionsschutz

Ein im wahrsten Sinne des Wortes brandheißes Thema in galvanotechnischen Betrieben ist ein **umfassender Brandschutz**. Obwohl die Brandgefahr generell als gering eingestuft wird, kommen Brandunfälle in galvanischen Betrieben oder Abteilungen vergleichsweise häufig vor und führen oft zu hohen Sachschäden. Brandursachen sind meist Fehler an elektrischen Anlagen. Bedingt einerseits durch viele dezentrale Heizquellen, durch hohe Stromflüsse und andererseits Behältnisse, Vorrichtungen und Rohrleitungen aus Kunststoff ist hier das Risiko von Entzündungen hoch.

Präventive Maßnahmen sollten daher genauso ergriffen werden wie Sicherheitsvorkehrungen für den Brandfall.

- Wenden Sie die geltenden **Unfallverhütungsvorschriften** für elektrische Anlagen und Betriebsmittel (BGV A3) mit den darin enthaltenen Prüf- und Wartungsvorgaben an.
- Beachten Sie das **Lagerungsverbot** von leicht entzündlichen Stoffen und Gegenständen in der Nähe von elektrischen Betriebsmitteln.
- Erstellen Sie einen **Brandschutzplan** (hierbei unterstützt sie die örtliche Feuerwehr).
- Installieren Sie **Brandmeldeeinrichtungen und ausreichende Feuerlöscher** mit den entsprechenden Hinweisschildern.
- Informieren und Schulen Sie ihre Mitarbeiter (**Brandschutzunterweisung**).

Neben den Maßnahmen zum Brandschutz ist auch der **Explosionsschutz** ein wichtiges Thema. Hierfür ist insbesondere die bei vielen Prozessen auftretende **Wasserstoffentwicklung** verantwortlich. **Dieser entsteht bei allen Ätz- und Beizprozessen, beim Eloxieren sowie beim chemischen Vernickeln**. Auch bei den elektrochemischen Verfahren tritt er als Nebenreaktion auf, so kann z.B. auch beim **Verchromen** Wasserstoff in gefährlichen Mengen auftreten. Da Wasserstoff leichter als Luft ist, steigt er nach oben, so dass eine **gute Lüftung** im Dachbereich wichtig ist. Bei unzureichender Lüftung und bei geschlossenen Bädern ist eine **Absaugung** erforderlich. Eine Gefahr geht auch von sich bildenden Schaumteppichen bei den genannten Bädern aus, da die Gasbläschen mit Wasserstoff gefüllt sind und somit bei Funkenbildung eine Explosion ausgelöst werden kann. Die Beurteilung des Explosionsrisikos und ggf. erforderlicher Schutzmaßnahmen sind in einem Explosionsschutzdokument festzuhalten, das aber nicht zwangsläufig ein eigenständiges Dokument sein muss. Eine Vorlage für die Erstellung eines Explosionsschutzdokuments nach § 6 der Betriebssicherheitsverordnung mit Erläuterungen als word-Datei (145 kB) erhalten Sie bei der Vereinigung der Metallberufsgenossenschaften (zu den Anforderungen der BetrSichV im Bereich Explosionsschutz siehe auch Rechtsgrundlagen > Betriebs- und Anlagensicherheit > Betriebssicherheit > Explosionsgefährdete Bereiche).

Auf die gesetzlichen Grundlagen und die allgemeine Vorgehensweise beim betrieblichen Brandschutz wird in diesem Portal auf der Seite Rechtsgrundlagen > Sonstiges Umweltrecht > Brandschutz eingegangen. **Ergänzende Informationen und Hilfen zur Vorgehensweise beim Brandschutz** erhalten Sie in der Broschüre „Brandschutz, Brandverhütung, Brandbekämpfung: Ein Wegweiser für Arbeitgeber und Beschäftigte“ des Bayerischen Landesamts für Arbeitsschutz, Arbeitsmedizin und Sicherheitstechnik, hier als pdf-file (1,5 MB), sowie in der Berufsgenossenschaftlichen Information BGI 560 Arbeitssicherheit durch vorbeugenden Brandschutz.

Gefahrstoffe und Arbeitsschutz

Galvanotechnische Betriebe unterscheiden sich von anderen metallbe- und -verarbeitenden Betrieben bezüglich des Arbeitsschutzes vor allem durch den verstärkten **Umgang mit Chemikalien**, die in der Regel als Gefahrstoffe eingestuft sind.

Bild: Chemikalienlager in einer Galvanik

Quelle: VMBG-Info Sicherheit + Gesundheit, Nr. 3/05 Schwerpunkt Galvanotechnik

Neben den bereits beschriebenen Maßnahmen zum Brand- und Explosionsschutz sind die Mitarbeiter nicht nur beim Handling von Chemikalien bei der Lagerung, dem Befüllen und Nachschärfen der Bäder und der Entsorgung bzw. Abwasserbehandlung, sondern auch beim manuellen Transport der Werkstücke von einem Bad zum Anderen gefährdet. Um ein risikoarmes Arbeiten sicherzustellen müssen die Mitarbeiter darüber informiert sein, welche Betriebsstoffe eingesetzt werden und wie sie mit den verschiedenen Chemikalien, Geräten und Anlagen umzugehen haben, wann Gefahr droht und wann sie welche Schutzmaßnahmen zu ergreifen haben. Für den **Umgang mit Gefahrstoffen** ist daher die Erstellung von Betriebsanweisungen und die Durchführung von Unterweisungen gesetzlich vorgeschrieben. Sie sind auf den Gefahrstoff bezogen und müssen Informationen zu den Gefahren für Mensch und Umwelt, den Schutzmaßnahmen, Verhaltensregeln im Gefahrfall, Erste Hilfe-Maßnahmen sowie Hinweise zur sachgerechten Entsorgung beinhalten.

Tipp:
Insbesondere für kleine Betriebe bedeutet die Erstellung der Betriebsanweisungen einen verhältnismäßig hohen Aufwand. Stoffe mit gleichen Gefahrenmerkmalen (z. B. Säuren oder Laugen mit der gleichen Gefährdungsklasse) können zu Stoffgruppen in einer Betriebsanweisung zusammengefasst werden. Wichtig dabei ist, dass die Gefahren und die Schutzmaßnahmen richtig dargestellt werden. Weitere Informationen zu Betriebsanweisungen und zu Unterweisungen finden Sie unter Recht > Betriebs- und Anlagensicherheit > Betriebssicherheit > Betriebsanweisung .

Häufig handelt es sich bei den eingesetzten Chemikalien um **Säuren oder Laugen**, so dass Vorkehrungen gegen Verätzungen besondere Bedeutung haben. **Besonders kritisch ist der Umgang mit Konzentraten**, während der Hautkontakt bei den Produktionsbädern dagegen verhältnismäßig unproblematisch ist, wenn die Chemikalien sofort und ausreichend mit kaltem Wasser abgewaschen werden. **Ergänzende Informationen und Hilfen zum Arbeitsschutz in galvanotechnischen Betrieben** erhalten Sie über ihre Berufsgenossenschaft, z.B.:

- Berufsgenossenschaftliche Information BGI 552 Sicherheitslehrbrief für Galvaniseure
- Sicherheitsregeln für Beschickungseinrichtungen galvanotechnischer Anlagen (ZH 1/62)
- Gefährdungs-/Belastungskatalog Galvanik

Die gesetzlichen Grundlagen zur Schaffung sicherer Arbeitsbedingungen seitens des Arbeitgebers ist im Wesentlichen in der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), den ArbeitschG, der ArbeitsstättV, und der GefstoffV geregelt, auf die in diesem Portal im Bereich Rechtsgrundlagen > Betriebs- und Anlagensicherheit und Rechtsgrundlagen > Gefahrstoffe und Gefahrgut > Gefahrstoffe eingegangen wird.

Energieeffizienz

Neben den warmen Formgebungs- und Behandlungsverfahren ist der Energieverbrauch auch bei galvanotechnischen Verfahren ein wesentlicher Kostenfaktor, der aufgrund der Preissteigerungen bei Strom weiter an Bedeutung zunimmt. Untersuchungen zeigen, dass **zwischen 7 und 20% der Produktionskosten einer Galvanik Energiekosten sind**.

Bild: Gleichrichter in einer Galvanik

Quelle: Fa. Driesch GmbH Anlagentechnik

Die wesentlichen Energieverbraucher in einer Galvanik, die bezüglich möglicher Energieeinsparungspotenziale genauer betrachtet werden sollten sind:

- Gleichrichter für die Elektrolyse
- Beheizung der Prozessbäder
- Beheizung der Arbeits-/Produktionsräume
- Absauganlagen

Ansatzpunkte zur Optimierung der Stromversorgung und der Elektrolyse

Auf die elektrolytischen Prozesse entfällt in der Regel der Hauptanteil des Energiebedarfs. Wesentliche Ansatzpunkte sind die Gleichrichter und eine optimale, d.h. möglichst **spannungsverlustarme Stromübertragung** zu den Elektroden.

Hinweis (Quelle; Effiziente Energieausnutzung in der Galvanikindustrie, LfU Bayern):

Die Spannungsverluste im Gleichrichter können minimiert werden durch:

- Austausch der Selenplatten gegen Siliziumdioden.

Durch diese Maßnahme ist eine Verbesserung des Wirkungsgrades um 10 - 20 % erreichbar. Der Austausch bietet sich insbesondere bei routinemäßigen Wartungsarbeiten an ölgekühlten Gleichrichtern an.

Die Spannungsverluste an den Kontakten können minimiert werden durch

- Regelmäßige Reinigung der Kontaktblöcke
- Einsatz von Leitfett
- Austausch von schadhaften Kontakten gegen verbessere Systeme (z. B. Klemmsysteme)
- Verbesserung des Stromübergangs vom Gestell zu den zu galvanisierenden Bauteilen

Achtung: Gekühlte Kontaktblöke sind Energievernichter!

Die Spannungsverluste im Elektrolyten und im System können minimiert werden durch

- Erhöhung der Leitfähigkeit des Elektrolyten
- Verringerung des Abstandes Anode/Kathode
- Anpassung der Anode an den Warenträger (Galvanisiertrommel)

Sorgen Sie zudem für sehr kurze Abstände zwischen Gleichrichter und Elektroden und verringern Sie den Abstand zwischen Anode und Kathode. Auch die Leitfähigkeit des Elektrolyten ist wichtig für einen effizienten Energieeinsatz. So kann beispielsweise die Leitfähigkeit von saurer Kupferlösung durch Zugabe von Schwefelsäure und bei Hartchrom-Bädern die Entfernung von Eisen- und Chrom (III)-Verunreinigungen verbessert werden.

Ansatzpunkte zur Optimierung der Bad- und Raumbeheizung

Bei allen Prozessstufen (Vorbehandlung, Metallabscheidung, Nachbehandlung) findet eine Reihe von Prozessen bei höheren Temperaturen statt. Weiterhin ist zur Trocknung der Teile meist Wärme in Form von Warmluft erforderlich. Wesentliche Ansatzpunkte liegen sowohl in der Optimierung der Beheizung als auch bei der Reduzierung der Wärmeverluste.

- **Reduzieren Sie den Einsatz von Strom zur Wärmeerzeugung**. Der Wirkungsgrad bei direkter Beheizung (z. B über Erdgas oder Heizöl) liegt fast um den Faktor drei höher. Prüfen Sie auch ob sich ggf. der Einsatz eine Kraft-Wärme-Kopplungsanlage rentiert. Wegen der möglichen Wasserstoffentwicklung dürfen im Galvanikbereich keine offenen Flammen eingesetzt werden.
- Wenn ein Verfahren über einen größeren Temperaturbereich durchgeführt werden kann, erproben Sie den Betrieb am **unteren Ende der Spannbreite**.
- Bei offenen Warmbädern sind **Verdampfungsverluste große Energiefresser**. Nach Möglichkeit sollten Sie Ihre Bäder daher abdecken. Hierzu gibt es auch flexible Systeme (z. B. Teilabdeckungen, Rollbänder). Holen sie sich Rat und Informationen bei den Anlagenherstellern.
- Insbesondere bei Metallwannen gehen über **unisolierte Behälter** ebenfalls erhebliche Energiemengen verloren. Installieren Sie nach Möglichkeit zusätzliche Isolationen.
- **Wärmerückgewinnung**: Nutzen Sie die Abwärme aus Bädern und der Abluft über Wärmetauscher zur Raum- und Badbeheizung.

Energieeinsparungen bei Abluftanlagen

Der Optimierung des Zu- und Abluftsystems kommt energietechnisch aus zweierlei Hinsicht besondere Bedeutung zu, da

- der überwiegende Teil der im Betrieb eingesetzten Energie letztendlich in Wärme umgewandelt wird und über die Abluft das Gebäude verlässt und
- die Absauganlagen häufig einer der großen Stromverbraucher sind.

Eine Reduzierung der erforderlichen Absaugmenge bedeutet daher sowohl einen reduzierten Wärmeverlust, als auch die Reduzierung der installierten Leistung der Absauganlage. In jeden Fall müss die Belüftung so gestaltet sein, dass der zulässige Arbeitsplatzgrenzwert für die Luftbelastung sicher eingehalten wird.

Bild: Abluftanlage in einem galvanotechnischen Betrieb

Quelle: Fa. Driesch GmbH Anlagentechnik

Wesentliche Ansatzpunkte sind:

- **Abdeckung der warmen Bäder**. Durch die Reduzierung der Verdampfung verringern sich die Energieverluste und es sind geringere Absaugleistungen erforderlich.
- **Teilabdeckung am Gestellträger**. Diese Maßnahme reduziert die Emissionen, wenn der Gestellträger ins Bad eingetaucht ist. Sie ist besonders dann geeignet, wenn nur während der Behandlung Schadstoffe emittiert werden.
- **Abstimmung der Frischluftzuführung auf die Absaugung**. Gezielte Luftströmungen verbessern sowohl die Frischluftversorgung der Arbeitsplätze, wichtig insbesondere bei Dauerarbeitsplätzen, und reduzieren gleichzeitig den abzusaugenden Volumenstrom.
- Prüfen Sie, ob eine **Abluftwärmerückgewinnung** ökologisch und wirtschaftlich in Betracht kommt. Dies ist jedoch eine Sekundärmaßnahme, d.h. zuvor sollten alle primären Maßnahmen zur Minimierung der Abluftmengen geprüft werden.

Bei allen Maßnahmen müssen die Anforderungen des Arbeits- und Immissionsschutzes beachtet werden. Gute Hinweise für Ansatzpunkte zur effizienten Energienutzung und zur Vorgehensweise zur Durchführung einer Energienutzungsanalyse finden Sie in der Broschüre „Effiziente Energienutzung in der Galvanikindustrie“ der LfU Bayern, die Sie bei der LfU-Bayern auch als Datei runterladen können. Weitere Informationen zum Thema Energie finden Sie auf diesem Portal unter Wichtig für alle Branchen > Energie > Energieeinsparmöglichkeiten.

Vorbehandlungsverfahren in galvanotechnischen Anlagen

Für die Prozesssicherheit und eine hochwertige Beschichtung spielt die Vorbehandlung bei galvanotechnischen Prozessen eine bedeutende Rolle. Je nach Verschmutzung und Beschaffenheit der zu beschichtenden Werkstücke ist eine gründliche Reinigung und Vorbereitung unmittelbar vor der eigentlichen Abscheidung erforderlich, so dass die Teile eine metallisch reine und aktive Oberfläche aufweisen. Hierzu werden vorwiegend nachfolgend aufgelisteten Vorbehandlungsverfahren eingesetzt.

Tabelle: Vorbehandlungsverfahren als Vorstufe für galvanotechnische Prozesse

Anforderung	Verfahren
Entfernung von Schmutz und Oberflächendefekten	Mechanische Reinigung (Schleifen, Polieren, Strahlen) oder Waschverfahren
Entfernung von vorherigen Beschichtungen, z. B. Lacken	Entlackung - mechanisch (Schleifen) - chemisch
Entfernung von Öl- und Fettschichten	Entfettung/Reinigung mit - wässrigen Verfahren - organischen Lösemitteln - sonstigen Verfahren, z. B. Plasmareinigung
Entfernung von Oxidschichten, Erzeugung aktiver Oberflächen	Beizen, Dekapieren, Aktivieren

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Für die meisten Verfahrensschritte gibt es verschiedene Varianten oder Kombinationen, die anwendungsspezifisch (Art der störenden Schichten, zu beschichtender Werkstoff) eingesetzt werden. Den typischen Vorbehandlungsprozess in galvanotechnischen Betrieben gibt es daher nicht. In der Regel ist jedoch mindestens eine **Entfettungsstufe** (vollständige Öl- und Fettfreiheit ist eine Grundvoraussetzung) und ein **Beiz- oder Dekapierprozess** zur Entfernung von Oxidschichten erforderlich.

Generell gilt: Je sauberer und unversehrter die zu beschichtenden Teile sind, desto geringer ist der Vorbehandlungsaufwand. Saubere Teile bedeuten gleichzeitig längere Standzeiten der Prozessbäder. Sie haben somit direkten Einfluss auf den Chemikalienverbrauch (Ressourcenschonung) und Abfallvermeidung (verbrauchte Vorbehandlungsbäder).

Nicht nur aus ökologischen Gründen, sondern auch zur **Erzielung reproduzierbarer und optimaler Beschichtungsqualitäten** sollte der Galvaniseur daher auf möglichst saubere und unversehrte Teile bzw. Halbzeuge achten. Im eigenen Betrieb aber insbesondere bei **Lohngalvaniken** ist der diesbezügliche Informationsaustausch mit dem Vorlieferanten/Kunden von großer Bedeutung. Nach Möglichkeit sollte schriftlich vereinbart werden, dass

- die zu galvanisierenden Teile oder Halbzeuge möglichst **geringe Verschmutzungen** (z. B. Kühlschmierstoffe, Korrosionsschutzschichten, Staub) aufweisen,
- die Art und Menge der **Verschmutzung benannt wird und gleich** bleibt (Bearbeitungsprozesse, verwendete Chemikalien),
- die zu galvanisierenden Teile **möglichst wenig Oberflächenfehler** aufweisen.

Wichtig ist auch die sorgfältige Spülung zwischen den einzelnen Vorbehandlungsschritten und vor der eigentlichen Beschichtung, so dass die **Verschleppung von Prozessmedien in das Folgebad möglichst gering** gehalten wird.

Verbrauchte Prozess- sowie Spülbäder aus wässrigen Vorbehandlungsstufen, die nicht mehr zurückgeführt werden können, werden in der Regel zusammen mit Prozesswässern aus den Beschichtungsprozessen in der **Abwasserbehandlungsanlage** (Siehe: Metall > Galvanik > Verfahren > Abwasserbehandlung) gereinigt.

Grafik: Einbindung wässriger Prozessschritte zur Vorbehandlung in der Galvanotechnik

Quelle: Bosse, K., Deutscher Beitrag zu den besten verfügbaren Techniken „Oberflächentechnik“, Umweltbundesamt, 2005

Die Bezirksregierung Arnsberg hat für die Anlagenbetreiber in übersichtlichen Tabellen - geordnet nach Verfahren - zusammengestellt, welche luftseitigen Emissionen zu erwarten sind und welche gesetzlichen Anforderungen zur Lufteinhaltung gestellt werden. Sie bietet Ihnen die Möglichkeit, Ihre Erfahrungen mitzuteilen und dadurch beizutragen, dass diese Arbeitsgrundlage regelmäßig vervollständigt und fortgeschrieben werden kann. Auf Anfrage sendet Ihnen Herr Werner Bauman (E-Mail: werner.baumann@bezreg-arnsberg.nrw.de, Tel. 02931/825302) diese Tabellen gerne zu.

Reinigen und Entfetten vor galvanotechnischen Anwendungen

Eine Grundvoraussetzung für jede galvanotechnische Metallabscheidung ist die **vollständige Öl- und Fettfreiheit** der zu behandelnden Metalloberfläche. Zur Reinigung/Entfettung stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung (wässrig, Lösemittel, Plasma), die auch in anderen Bereichen metallbe- und verarbeitender Betriebe eingesetzt werden.

Reinigungs-/Entfettungsverfahren sind daher übergreifend im Bereich Metallbearbeitung > Produktionsprozesse > Reinigung/Entfettung beschrieben.

Galvanotechnische Verfahren sind generell **nasschemische Prozesse**. Um einen Systemwechsel zu vermeiden werden in galvanotechnischen Prozessketten daher vorwiegend **wässrige Entfettungsverfahren** eingesetzt. Über den angegebenen Link kommen Sie direkt zu den wässrigen Reinigungsverfahren (Metallbearbeitung > Produktionsprozesse > Reinigung/Entfettung > wässrig).

Vorbehandlung durch Beizen

In Verbindung mit Sauerstoff entstehen auf ungeschützten metallischen Oberflächen **Oxidschichten**. Diese müssen vor dem galvanischen Beschichtungsprozess zuverlässig entfernt werden. Der häufigste hierfür eingesetzte Prozess ist das **Beizen**, teilweise, z. B. bei Kupferwerkstoffen wird er auch **Brennen** genannt. Daneben kommen noch Verfahren wie das **Dekapieren**, häufig auch als **Aktivieren** bezeichnet, zum Einsatz. Neben diesen stromlosen Verfahren werden verschiedentlich auch **elektrochemische Verfahren** zum Entzundern, Entrosten und Anätzen mit sauren, alkalisch cyanidischen und cyanidfreien **Elektrolyten** verwendet.

Eine umweltfreundliche Verfahrensvariante ist die Entfernung von Rost- und Oxidschichten durch Mikroorganismen (Siderophore) in wässrigen Lösungen. Auf den Einsatz von Säuren und der damit verbundenen Umweltproblematik kann dabei vollständig verzichtet werden. Verschiedene Spezialanwendungen befinden sich derzeit in der industriellen Erprobung. Weitere Informationen sowie Kontaktdaten zur Fachhochschule Mannheim erhalten sie über das Biotechnologie-Portal Baden-Württemberg.

Bilder: Biologisches Beizen von Metalloberflächen

Testblech unbehandelt Testblech, biologisch gebeizt

Quelle: FH Mannheim, Studie Mikroorganismen als natürliche Rostentferner, 2005

Beizprozesse

Beim Beizprozess werden Oxidschichten der Metalle durch chemische Reaktion mit dem Beizmittel entfernt, so dass eine blanke, aktive Metalloberfläche für den folgenden Beschichtungsprozess zur Verfügung steht. Je nach Anwendungsgebiet und dem zu behandelnden Metall bzw. der Legierung werden als **Beizmittel Säuren, primär Schwefel- und Salzsäure**, aber teilweise auch Salpeter-, Fluss- und Phosphorsäure sowie Mischsäuren eingesetzt. Dagegen erfolgt das **Beizen von Aluminiumlegierungen überwiegend in alkalischen Lösungen**. Als Additive werden Beizinhibitoren zugesetzt, die einen zu starken Angriff der Grundmetalle (Lochfraß) und der damit verbundenen Wasserstoffentwicklung verhindern sollen.

Weitere Informationen zum Beizen finden Sie unter Metall > Produktionsverfahren > Oberflächenvorbehandlung > Beizen.

Genehmigungspflicht

Bereits ab einem Volumen der Wirkbäder von 1 m³ müssen Anlagen zum Beizen oder Brennen gemäß der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (**4. BImSchV**) nach Spalte 2 genehmigt werden, wenn Fluss- oder Salpetersäure eingesetzt wird. Bei Anlagen größer 30 m³ ist ein Genehmigungsverfahren nach Spalte 1 erforderlich. Weitere Informationen zu Genehmigungsverfahren finden Sie im Bereich Recht > Immissionsschutz > Anlagengenehmigung.

Die zu beizenden Werkstücke müssen **vollständig fettfrei** sein, da die Säure nur an den fettfreien Stellen angreifen kann und ansonsten eine ungleiche Beizung erfolgt. Die Abstimmung des Beizprozesses mit dem vorgelagerten Entfettungsprozess ist wichtig für eine effektive Prozessführung. Alternativ können so genannte **Beizentfetter** eingesetzt werden. Diese enthalten neben Inhibitoren Gemische von Netzmitteln und Emulgatoren, die in stark sauren Medien Fette und Öle emulgieren und deren Entfernung unterstützen können. **Bei schwach beölten Teilen kann mit diesem Kombinationsverfahren eine Prozessstufe eingespart werden.**

Das Beizen ist ein rein chemisches, materialabtragendes Verfahren. Der mit der Auflösung von Metalloxiden und Metallen verbundene Beizmittelverbrauch lässt sich durch das **Nachdosieren mit Frischbeize** recht einfach wieder ergänzen. Die Höhe des Beizmittelverbrauchs hängt somit direkt von der Stärke der Oxidschicht ab. **Möglichst gering oxidierte Vormaterialien bzw. Teile wirken sich damit direkt auf einen geringeren Chemikalienverbrauch aus und bewirken damit Ressourcenschonung und Kostenreduzierung in einem**.

Beizprozesse werden auch zur **Vorbehandlung von Kunststoffen** eingesetzt. So werden z. B. ABS-Kunststoffe vor dem Metallisieren in hochkonzentrierter **Schwefelsäure oder Chromsäure bzw. Chromschwefelsäure** gebeizt. Neben dem Reinigungseffekt werden dabei Löcher in die Kunststoffoberfläche geätzt, in die sich der nachfolgende Metallüberzug druckknopfartig verankern kann.

Umweltaspekte bei Beizprozessen

- Wie beschrieben werden beim Beizen vorwiegend Mineralsäuren, meist in relativ hohen Konzentrationen, verwendet. Zum Schutz der Mitarbeiter sind daher die **Arbeitsschutzmaßnahmen beim Umgang mit ätzenden Flüssigkeiten** zu beachten. Hinweise über zu treffende Schutzmaßnahmen (z. B. Haut- und Augenschutz) sind dem jeweiligen **Sicherheitsdatenblatt** zu entnehmen.
- Beim Beizprozess entstehen sowohl **ätzende Dämpfe**, die möglichst vermieden, z. B. durch Abdeckung der Bäder, ansonsten abgesaugt werden müssen. Ebenso muss eine mögliche **Wasserstoffentwicklung**, z. B. beim (unerwünschten) Überbeizen beachtet (ggf. Explosionsgefahr) und durch Lüftungs- und Absaugmaßnahmen berücksichtigt werden.
- **Abfälle aus Beizprozessen** sind zum einen die **verbrauchten Prozesslösungen** und zum anderen die aus Ausschleppungen resultierenden Abwässer und Abfälle. Der Chemikalienverbrauch korreliert direkt mit dem erforderlichen Abtrag von Zunder- oder Oxidschichten. Geringe Oxidschichten bedeuten somit einen geringen Chemikalienverbrauch. Die Austragsverluste über die Werkstücke können durch konstruktive und prozesstechnische Maßnahmen reduziert werden. Weitere Hinweise für eine abfallarme Prozessführung finden Sie im Bereich Einsatzstoffe > Beizen > Säuren.
- **Verbrauchte Beizbäder** müssen als **Sonderabfall** entsorgt oder innerbetrieblich durch chemisch physikalische Behandlung neutralisiert und entgiftet werden. Informationen hierzu finden Sie im Bereich Metall > Galvanik > Verfahren > Abwasserbehandlung

Vorbehandlung durch Dekapieren

Auch beim **Dekapieren** ist es primäres Ziel des Prozesses **störende Oxidschichten** vor dem Beschichtungsprozess **von der Metalloberfläche zu entfernen** und eine **aktive Oberfläche** zu erzeugen. Daher wird dieser Prozessschritt häufig auch als **Aktivieren** bezeichnet. **Im Unterschied zum Beizen** können mit dem Dekapieren nur dünne Oxid- oder Anlaufschichten von der Metalloberfläche entfernt werden. Hierzu werden stark verdünnte Mineralsäuren oder aktivierende saure Lösungen verwendet.

Das Dekapieren wird insbesondere nach vorangegangener Behandlung in einem alkalischen Medium (z. B. alkalisches Entfettungsbad) zur Entfernung alkalischer Restrückstände und Aktivierung der Metalloberfläche für den eigentlichen Beschichtungsprozess eingesetzt. **Bei gut verträglichen Medien kann teilweise auf den Spülprozess vor der nachfolgenden Metallabscheidung verzichtet werden, was die Badfolge vereinfacht und den Wasserverbrauch reduziert.** Andererseits verliert das Dekapierbad durch den ständigen Eintrag von Spülwasser und Restalkalität aus dem vorherigen Prozessschritt ständig an Aktivität, so dass die **Badstandzeit sehr begrenzt** ist.

Anwendungsbeispiele sind

- **Behandlung von NE-Metallen**, u. a. auch Zinkdruckguss. Hierzu werden auch Dekapiersalze verwendet, die in Wasser sauer reagieren und deren Aktivität teilweise durch Zugabe von Mineralsäuren verstärkt werden kann. Diese Bäder weisen bessere Badstandzeiten auf.
- Vor der Metallisierung in **cyanidischen Lösungen** wird häufig in einer Alkalicyanidlösung dekapiert. Bei guter Abstimmung der Prozessbäder kann auf eine Zwischenspülung verzichtet werden.
- Wird vor einer **schwefelsauren Verkupferung oder Verzinnung** in einer Schwefelsäurelösung dekapiert, so kann ebenfalls auf die Zwischenspülung verzichtet werden.

Umweltaspekte beim Dekapieren

Aus der Sicht des Arbeitsschutzes ist das Dekapieren dem Beizen vorzuziehen, da beim Dekapieren nur schwachen Säuren (1 bis max. 10%) eingesetzt werden und der Prozess in der Regel bei Raumtemperatur erfolgt.

Außer einem möglichst **geringen Eintrag von Alkalität aus dem Vorprozess** (durch effektives Spülen) sind derzeit keine eingeführten Techniken zur Verlängerung der Badstandzeit von Dekapierbädern bekannt (Quelle: Deutscher Beitrag zum BREF Oberflächentechnik).

Verbrauchte Dekapierbäder können in der Regel innerbetrieblich durch Neutralisation behandelt werden. Werden cyanidhaltige Dekapierbäder eingesetzt, so erschwert dies die Abwassserbehandlung deutlich. Weitere Informationen hierzu finden Sie im Bereich Metall > Galvanik > Verfahren > Abwasserbehandlung.

Metallabscheidung - Verfahrensgrundlagen

Bei der galvanischen Abscheidung von Metallen wird ein **Verbundwerkstoff** hergestellt. Der Grundwerkstoff liefert die Form und Festigkeit, die aufgetragene Schicht die Oberflächeneigenschaften. Diese können z. B. die folgenden Funktionen erfüllen:

- Korrosions- und Oxidationsbeständigkeit
- dekoratives Aussehen (Glanz, Farbe)
- Verschleißfestigkeit
- Gleitvermögen
- elektrische Eigenschaften

Die mit galvanotechnischen Verfahren erzeugten Oberflächenschichten sind dünne Metallschichten. Bei der Erzeugung dieser Schichten unterscheidet man im Wesentlichen zwei Grundverfahren: das außenstromlose chemische und das elektrochemische (galvanische) Verfahren.

Bild: Gesamtansicht einer Galvanik

Quelle: Fa. Driesch GmbH Anlagentechnik

Bei der **chemischen oder außenstromlosen Metallabscheidung** wird die zur Abscheidung nötige Reduktion der Metallionen durch eine chemische Reaktion (Reduktionsmittel) bewirkt. **Metallionen und Reduktionsmittel müssen ständig kontrolliert und nachdosiert werden. Das führt dazu, dass die Standzeit chemischer Metallisierungslösungen grundsätzlich begrenzt ist.** Chemische Metallabscheidungsverfahren haben z. B. den Vorteil, **dass die Beschichtung auch in feldfreien Teilen (z. B. im Rohrinneren) erfolgt**.

Elektrochemische Verfahren basieren darauf, dass die Metallionen im einem von außen angelegten elektrischen Feld zur Kathode wandern und dort zu Metall reduziert werden. In der Galvanotechnik wird das zu beschichtende Werkstück als Kathode geschaltet, während die Anode in der Regel aus dem abzuscheidenden Metall besteht. Beim Anlegen eines elektrischen Feldes geht im Idealfall anodisch die gleiche Menge Metall in Lösung, wie kathodisch abgeschieden wird, so dass die Zusammensetzung der Prozesslösung im Wesentlichen konstant bleibt. **Das bedeutet, dass die Standzeit der Prozesslösungen von elektrochemischen Prozessen zumindest theoretisch unendlich ist.**

In der Praxis erleiden die Prozesslösungen **jedoch Qualitätsverluste durch Eintrag und Bildung von Störstoffen**, was unterschiedliche Ursachen haben kann, wie z.B.:

- **Einschleppung** von Störstoffen aus vorausgehenden Prozessbädern infolge unzureichender Spültechnik
- **Ablösen von Basismetall** (insbesondere bei sauer arbeitenden Prozesslösungen)
- **Chemische Veränderung der Prozesslösung** (z. B. Reduktion von Cr (VI) zu Cr (III) bei der Verchromung, Carbonatbildung durch Aufnahme von Kohlendioxid aus der Luft in alkalisch/cyanidischen Prozesslösungen)
- **Höhere Auflösung von Anodenmetall** als Abscheidung an der Kathode
- **Zersetzung organischer Bestandteile** der Prozesslösung

Grafik: Galvanische Abscheidung von Kupfer

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Die Standzeit von **Elektrolyten** kann durch geeignete Maßnahmen (z. B. Regeneration oder Kreislaufführung) deutlich verlängert werden. Geeignete Maßnahmern sind insbesondere im Bereich Metall > Galvanik > Einsatzstoffe > Elektrolyt beschrieben.

Die Bezirksregierung Arnsberg hat für die Anlagenbetreiber in übersichtlichen Tabellen - geordnet nach Verfahren - zusammengestellt, welche luftseitigen Emissionen zu erwarten sind und welche gesetzlichen Anforderungen zur Lufteinhaltung gestellt werden www.bezreg-arnsberg.nrw.de/dieBezirksregierung/aufbau/abteilungen/abteilung5/dezernat53/emissionsrelevanz/index.html. Sie bietet Ihnen die Möglichkeit, Ihre Erfahrungen mitzuteilen und dadurch beizutragen, dass diese Arbeitsgrundlage regelmäßig vervollständigt und fortgeschrieben werden kann (Adresse: Werner Baumann, E-Mail: werner.baumann@bezreg-arnsberg.nrw.de, Tel. 0231/5415-468).

Abscheidung von Kupfer und Nickel

Kupfer

Die Beschichtung von Werkstücken mit Kupfer kann verschiedenen Zwecken dienen:

- Herstellung von Zwischenschichten vor dem Vernickeln oder Verchromen (**Verbesserung der Haftung**)
- Herstellung von **Druckzylindern** für den Tiefdruck
- Herstellung von **Tonträgermatrizen**
- Herstellung **dekorativer Schichten**
- Herstellung **elektrischer Kontakte** oder Leiterbahnen, insbesondere für elektronische Bauteile

Bild: Gestellanlage

Quelle: Fa. Hattler Electroplating

Es gibt zahlreiche unterschiedliche Kupferelektrolyte. Am **weitesten verbreitet sind schwefelsaure und cyanidische Elektrolyte**. Saure **Elektrolyte** bestehen aus Kupfersulfat, Schwefelsäure, Netzmitteln und Glanzzusätzen. Cyanidische Elektrolyte bestehen aus Kupfercyanid, Kalium- oder Natriumcyanid, Natriumhydroxid und Glanzzusätzen.

Störstoffe bei der Verkupferung sind insbesondere

- Chloride (bei sauren Elektrolyten)
- Fremdmetalle wie Blei, Eisen, Chrom VI, Zink,
- organische Abbauprodukte und
- Carbonate bei alkalischen Elektrolyten.

Badpflege

Partikelförmig vorliegende Stoffe können durch **Filtration** aus dem Bad entfernt werden. Organische Verunreinigungen können durch **Adsorption an Aktivkohle** reduziert werden. Bei cyanidischen Bädern kann die Badstandzeit durch **Kühlkristallisation** (Ausfrieren von Natriumcarbonat) verlängert werden. Details zu den Verfahren siehe Metall > Galvanotechnik > Einsatzstoffe > Elektrolyte.

Nickel

Nickel wird meist als Korrosionsschicht aber auch zu dekorativen Zwecken eingesetzt. Um einen stabilen und haltbaren Korrosionsschutz zu erreichen, wird meist ein mehrschichtiger Aufbau gewählt, z. B. Fe/Cu/Ni oder Fe/Cu/Ni/Cr. Nickelelektrolyte bestehen meist aus Nickelsalzen (überwiegend Sulfat, aber auch Chlorid, Sulfamat), Borsäure und Netzmitteln, Glanzbildnern sowie Einebnern. **Das Wasser zum Ausgleich von Verdunstungsverlusten sollte vollentsalzt sein**.

Störstoffe sind insbesondere

- Fremdmetalle,
- organische Abbauprodukte und Verunreinigungen
- Nickelüberschuss durch „Kalben des Wirkbades" (es wird hier bei mehr Nickel aus der Anode gelöst als auf dem kathodischen Werkstück abgeschieden).

Badpflege

Feststoffe werden durch Filtration und organische Störstoffen durch Aktivkohle aus dem Wirkbad entfernt. Fremdmetalle können durch selektive elektrolytische Behandlung entfernt werden. Details zu den Verfahren siehe Metall > Galvanotechnik > Einsatzstoffe > Elektrolyte.

Grafik: Beispiel für einen Nickel-Kreislauf

Quelle: Wirtschaftliche Galvanotechnik, 2003

Abscheidung von Chrom

Chromschichten dienen dem Korrosionsschutz, dekorativen Zwecken oder der Verbesserung der Verschleißfestigkeit von Oberflächen. Chrom ist ein unedles Metall, das in der Atmosphäre schnell passiviert wird und dadurch eine sehr gute Korrosionsbeständigkeit erhält. Galvanisch abgeschiedene Chromschichten sind sehr hart. Man unterscheidet in

- **Glanzverchromung** mit geringen Schichtdicken, die zu dekorativen Zwecken und auch zum Korrosionsschutz als obere Schicht auf Nickel- oder Kupfer/Nickelüberzügen aufgetragen wird und
- **Hartverchromung**, mit größeren Schichtdicken, die als hitzebeständige, verschleiß- und korrosionsfeste dicke Oberflächenschicht für hochwertige technische Anwendungen eingesetzt wird.

Verwendet werden nahezu ausschließlich **Elektrolyte** auf Chrom-VI-Basis. In Chrom-VI Elektrolyten wirken geringe Gehalte an Chrom-III positiv auf die Abscheidequalität. Bei höheren Konzentrationen an Cr-III oder Fremdmetallen verschlechtert sich die Qualität allerdings zunehmend.

Elektrolytzusammensetzung

- Chromsäure
- Schwefelsäure
- Kieselfluorwasserstoffsäure (mischsaure Elektrolyte)

Als Störstoffe gelten ein zu hoher Anteil an Chrom-III und Fremdmetalle, vor allem Eisen, Kupfer sowie Nickel.

Badpflege

Chromelektrolyte weisen aufgrund höherer Viskosität und hoher Badkonzentrationen meist eine **hohe Verschleppungsrate** auf und müssen wegen der starken Wasserstoff- und Sauerstoffentwicklung an den Elektroden im Allgemeinen mit einer **Abluftreinigung** ausgestattet werden (Aerosolabscheidung). Begünstigt durch hohe Badkonzentrationen und die hohe Verschleppungsraten können **Spülwässer bei Anwendung der Kaskadenspülung aufkonzentriert (Verdampfen oder Verdunsten) und ins Prozessbad zurückgeführt werden**. Überschüssiges Chrom-III und Fremdmetalle müssen selektiv entfernt oder oxidiert werden, z. B. durch Kationenaustauscher.

Kreislaufführung von Chrombädern

Wegen des hohen Stromflusses werden Chrombäder warm und müssen gekühlt werden. Diese Wärme kann zu Aufkonzentrierung und Rückführung von Spülwässern in das Wirkbad genutzt werden.

Grafik: Kreislaufführung von Chromelektrolyten (vereinfacht)

Quelle: Müller, Praktische Oberflächentechnik, 1995

Arbeitsschutz

Die berufliche Exposition von Chrom(VI) konnte in den letzten Jahren und Jahrzehnten in vielen Fällen durch verbesserte Arbeitsplätze, Arbeitsabläufe und Hygienemaßnahmen verringert werden. Eine Reduktion an gesundheitlichen Risiken war die Folge. Dennoch zeigen aktuelle Fälle, dass gerade bezüglich der toxischen Auswirkungen nach wie vor ein hoher Standard beim Schutz der Mitarbeiter unabdingbar ist. Gerade um die gesundheitlichen Schäden einer Langzeitexposition auf ein Minimum zu reduzieren und schädliche Umwelteinwirkungen zu vermeiden, erweisen sich folgende Maßnahmen als sinnvoll:

- Tragen von Schutzausrüstung,
- ausreichende und auf den Emissionsort angepasste Erfassung und Abreinigung des Chroms aus der Luft,
- Frischluftzufuhr direkt am Arbeitsplatz,
- Vermeiden von zu nassem Handling der verchromten Teile,
- Wechseln und Reinigen von flüssigkeitsdurchlässigen Kleidungsstücken bei Kontamination mit Chromsäure,
- Verminderung der Aerosolbildung z. B. durch Abdecken der Elektrolyte (Deckel, Schwimmkugeln) soweit im Produktionsprozess anwendbar,
- effiziente Abtrennung von Chrom aus dem Abwasser,
- sachgerechte Lagerung der Feststoffabfälle.

Abscheidung von Zink und Zinn

Zink

Zink wird überwiegend als **Korrosionsschutzschicht** aufgetragen. Zink bildet an der Atmosphäre eine passivierte Schutzschicht aus. Im Fall einer Rißbildung verhält sich das unedlere Zink gegenüber Eisen als Basismaterial anodisch. Es geht daher bei einem korrosiven Angriff in Lösung und schützt das Eisen vor Korrosion. Oft werden zur **Verbesserung des Korrosionsschutzes zusätzlich Chromat- oder Phosphatschichten oder auch Lacke** auf die Zinkschicht aufgebracht.

Bild: Verzinkte, teilweise chromatierte Teile

Quelle: Fa. Fahrenbach & Kaun GbR

Zur Anwendung kommen **überwiegend schwach saure oder alkalische Bäder**. In schwach sauren **Elektrolyten** wird mit löslichen Zinkanoden gearbeitet. Im alkalischen (cyanidfreien) Verfahren werden überwiegend unlösliche Anoden eingesetzt. Zink wird in einem separaten Zinklöseabteil stromlos aufgelöst und über eine Umwälzpumpe der Prozesslösung zugeführt.

Elektrolytzusammensetzung

Am weitesten verbreitet sind die schwach sauren Elektrolyte dann die alkalischen. Die cyanidische Verzinkung hat heute in Deutschland praktisch keine Bedeutung mehr.

Tabelle: Übersicht der wichtigsten Elektrolyte

cyanidische Elektrolyte	schwach saure Elektrolyte	alkalische Elektrolyte
Zinkcyanid	Zinkchlorid	Zinkoxid
Natriumcyanid	Kaliumchlorid	Natron-/Kalilauge
Natriumhydroxid	Glanzzusätze	Glanzzusätze
Glanzzusätze	Tenside	Tenside

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Störstoffe bei der Verzinkung sind:

- organische Abbauprodukte der Zusätze
- Fremdmetallionen
- Soda (bei cyanidischen Elektrolyten).

Badpflege

Überschüssiges Zink und **Fremdmetalle werden elektrolytisch im Bypass entfernt**. Partikelgebundene Störstoffe können durch **Filter** (Flächen- und Anschwemmfilter), organische Verunreinigung durch **Adsorption an Aktivkohle** oder Oxidation (Wasserstoffperoxid) ausgeschleust werden. Das Carbonat wird durch **Kühlkristallisation** aus dem Bad entfernt.

Zinn

Zinn ist korrosionsbeständig gegen atmosphärische Einflüsse, Feuchtigkeit, wässrige Salzlösungen und Säuren. **Es wird daher häufig in der Lebensmittelindustrie eingesetzt (Weißblechdosen).** Weitere wichtige Eigenschaften von Zinn sind seine gute Lötbarkeit und seine günstigen tribologischen Eigenschaften. Die Abscheidung von Zinn erfolgt aus sauren und alkalischen Elektrolyten. Den sauren Elektrolyten müssen organische Stoffe zur Kornverfeinerung, Glättung und Stabilisierung zugesetzt werden, was eine regelmäßige Reinigung der Wirkbäder erforderlich macht.

Bild: Verzinnte Teile

Quelle: Fa. Penz Galvanotechnik

Elektrolytzusammensetzung

saure Elektrolyte	alkalische Elektrolyte
Zinn(II)sulfat / Zinn (II)methansulfonat	Natrium-/Kaliumstannat
Glanzzusätze / Methansulfonsäure	Ätznatron/Kalilauge
Schwefelsäure / Glanzzusätze	

Störfaktoren für die Zinnelektrolyte sind

- Fremdmetallionen
- organische Verunreinigungen
- Carbonate (bei alkalischen Verfahren).

Anoden müssen bei abgeschalteter Produktion aus dem Elektrolyten genommen werden, da sie sich sonst chemisch auflösen.

Badpflege

Partikelgebundene Störstoffen können durch Filter (Flächen- und Anschwemmfilter), organische Verunreinigung durch Adsorption an Aktivkohle abgetrennt werden.

Abscheidung von Edelmetallen

Die Edelmetallabscheidung dient meist **dekorativen Zwecken** (Schmuck, versilbern und vergolden). Wichtige technische Anwendungsbereiche sind z. B. **leitfähige und korrosionsfreie elektrische Kontakte** (vergolden). Es werden überwiegend die Metalle **Gold, Silber, Platin, Ruthenium und Rhodium** eingesetzt. Gold wird oft in Form von Legierungen abgeschieden.

Dies zum einen um entsprechende farbliche Effekte und spezifische Oberflächeneigenschaften zu erhalten, zum Anderen aber auch um Gold einzusparen. Silber ist das am häufigsten verwendete Edelmetall. Es wird in großen Mengen zum Versilbern (Tafelsilber) eingesetzt.

Bild: Armaturen mit dekorativen Beschichtungen

Quelle: Fa. Atoch Germany

Nach wie vor werden überwiegend **cyanidische Elektrolyte** verwendet. Für Gold sind heute auch cyanidfreie Elektrolyte verfügbar.

Abwasserbehandlung:

Auf Grund des hohen Wertes werden eldelmetallhaltige Abwässer sehr aufwändig behandelt, **so dass von diesen Anwendungen allein aus ökonomischen Gründen wenig Umweltgefahren ausgehen.** Oft wird zur Restmetallabscheidung die Elektrolyse eingesetzt, die die Restmetallgehalte bei Silber auf wenige Milligramm pro Liter, bei Gold aus unter ein Milligramm absenken. Bei Ionentauschern werden Harze eingesetzt, die die Edelmetalle irreversibel und nahezu vollständig binden. Die Rückgewinnung des Edelmetalls erfolgt durch die Veraschung der **Ionenaustauscherharze**.

Außenstromlose Metallabscheidung

Bei außenstromlosen Verfahren werden **Metallschichten ohne Anlegen eines äußeren elektrischen Stroms auf Oberflächen abgeschieden**. Der Abscheidungsprozess beruht auf elektrochemischen **Oxidations- und Reduktionsreaktionen** an den zu beschichtenden Oberflächen.

Die Bauteile werden mit einem wässrigen **Elektrolyten** in Kontakt gebracht werden. Die zur reduktiven Abscheidung von Metallen eingesetzten Elektrolytsysteme bestehen aus Lösungen geeigneter Metallsalze, Reduktionsmitteln und Hilfsstoffen. Die Reduktionsmittel reagieren dabei gezielt an der Grundmaterialoberfläche mit den in der wässrigen Lösung vorhandenen Metallionen und liefern so unmittelbar die zur Reduktion zum elementaren Metall erforderlichen Elektronen. Die technischen Schichtdicken liegen zwischen 10 nm und 50 µm.

Vorteile:

- Die durch chemische Verfahren erzeugten Schichten zeichnen sich durch eine **hohe Konturentreue** und sehr gleichmäßige Schichtdickenverteilungen aus.
- Auch an den **Kanten** kann mit chemischen Verfahren eine gleichmäßige Schichtdicke gewährleistet werden.

- Zudem können auch **Bohrungen oder Rohrinnenseiten** (faradyscher Käfig) gleichmäßig beschichtet werden.

Grafik: Unterschiede zwischen elektrochemischer und chemischer Metallabscheidung Nickel

Quelle: Fa. Weinbrecht und Kücherer

Nachteile:

Die chemische Beschichtung ist meist teurer als die galvanische (elektrochemische).

- Die Handhabung und **Pflege der Bäder aufwändiger** ist (z. B. regelmäßiges Nachschärfen),
- die **Einstandskosten für die Chemie** der Bäder höher als bei elektrochemischen.
- Meist ist auch die **Standzeit der Bäder geringer**. Die Abwasserbehandlung ist wegen der Komplexbildner aufwändiger

Bild: Oberfläche chemisch vernickelter Teile

Quelle: Fa. Weinbrecht und Kücherer

Derzeit werden industriell **überwiegend chemische Nickel- und Kupferbäder** eingesetzt.

Am Beispiel der unten dargestellten automatischen Anlage Chemisch-Nickel zeigt sich die aufwändige Handhabung des Bades. Der Badinhalt muss ständig in Bewegung gehalten und temperiert werden. Zudem muss die Badzusammensetzung kontinuierlich kontrolliert und nachgesteuert werden.

Grafik: Beispiel für eine chemisch Nickel-Anlage

Quelle: Müller, Praktische Oberflächentechnik, 1995

Galvanisieren von Nichtmetallen

Kunststoffe werden aus **dekorativen oder funktionalen Gründen** metallisch beschichtet. Eine funktionale Beschichtung ist oft bei elektrischen Bauteilen erforderlich, z. B. als elektrische Abschirmung oder Erdung (bei Gehäusen). Bei Leiterplatten müssen Bohrungen durchkontaktiert werden.

Nicht alle Kunststoffe sind für die Metallisierung geeignet, **wichtig ist vor allem ein guter Haftgrund für die Metallschicht**. Geeignete Kunststoffe sind z. B. Acrylnitil-Butadien-Styrol (ABS), Polypropylene (PP) oder PVC.

Kunststoffe sind elektrisch nicht leitend und **können daher nicht direkt galvanisch beschichtet** werden. Sie müssen daher zunächst leitend gemacht werden.

Verfahren zur Beschichtung von Kunststoffen

Die Oberfläche der Kunststoffe wird zunächst aufgeraut (z. B. Ätzen), um für die Metallschicht einen guten Haftgrund zu bieten. Beim Ätzen werden kleine Vertiefungen in der Kunststoffoberfläche erzeugt, in der sich **Metallkeime** niederschlagen können. Die Verankerung der Metallschicht erfolgt nach dem Druckknopfprinzip.

Bild: Angeätzte Kunststoffoberfläche

Quelle: BASF, Ludwigshafen

Anschließend wird die Oberfläche mit Metallen bekeimt. Erst nach dieser Vorbehandlung kann der Kunststoff chemisch metallisiert werden (Kupfer oder Nickel). Auf die chemische abgeschiedene Schicht können dann weitere Metallschichten elektrochemisch aufgebracht werden.

Verfahrensschritte bei der Metallisierung von Kunststoffen:

- **Ätzen** oder Beizen der Oberfläche (organische Lösemittel, Schwefel/Chromsäure)
- **Bekeimen** der Oberfläche mit Metallkeimen, z. B. mit kolloidalem Palladium
- **Metallisieren** der Oberfläche (Nickel, Kupfer, außenstromlos)
- ggf. aufbringen **weiterer Schichten** (alle anderen Metalle, elektrochemisch)

Die wesentliche Umweltbelastung ist hier mit dem Ätzen verbunden, bei dem Säuren, insbesondere Chromsäure, und organische Lösemittel freigesetzt werden können.

Bild: Metallisierter Kunststoff, hier Kühlergrill für PKW

Quelle: BASF, Ludwigshafen

Nachbehandlungsverfahren

Unter dem Begriff Nachbehandlungsverfahren werden eine Reihe von Behandlungsschritten, die in engem Zusammenhang mit der galvanischen Beschichtung stehen, zusammengefasst. Es sind dies vor allem:

- **Chromatieren** (siehe Metall > Galvanik > Prozesse > Chromatieren)
- **Befetten**

- **Entmetallisieren** von Gestellen, Körben und fehlbeschichteten Werkstücken.

Befetten (Beölen)

Nach dem Beschichtungsprozess werden die Werkstücke manchmal mit einer **dünnen Öl- oder Fettschicht überzogen**, um sie z. B. bei Zwischenlagerung vor Korrosion zu schützen oder auch um ihre Gleiteigenschaften zu verbessern.

Zur Befettung werden die Werkstücke in ein öl-, fett- und lösemittelhaltiges Bad getaucht. Nach dem Verdampfen des Lösemittels bleibt ein dünner Ölfilm auf dem Werkstück zurück.

Eine umweltfreundliche Alternative ist das Besprühen des Werkstücks mit Öl. Hier entstehen ebenfalls ein gleichmäßiger Ölfilm, aber keine lösemittelhaltigen Dämpfe.

Hinweis:

Das Beölen von Werkstücken sollte nur dann vorgenommen werden, wenn dies unbedingt erforderlich ist, da das Öl im nächsten Behandlungsschritt meist wieder abgereinigt werden muss.

Entmetallisieren

Durch das Entmetallisieren werden die **abgeschiedenen Schichten z. B. von den Kontaktstellen der Gestelle oder fehlerhaften Teilen entfernt**. Die Entmetallisierung erfolgt **chemisch oder elektrochemisch**, dabei wird das zu entmetallisierende Werkstück als Anode geschaltet. Die Entmetallisierungslösung muss einerseits das zu entfernende Metall möglichst schnell auflösen, sollte aber andererseits das Grundmetall möglichst nicht angreifen.

Foto: Nickelüberzug auf Gestellhaken

Quelle: Erne surface AG, 2005

In Ausnahmefällen, z.B. bei der chemischen Entchromung, kann eine elektrolytische Aktivierung des Überzuges, z. B. zum Abbau von Passivierungsschichten, notwendig sein.

Chemische Verfahren sind einfach in der Anwendung, sie erfordern weniger Aufwand bei der Ausrüstung der Anlage. Chemische Bäder enthalten oft Komplexbildner, die die Standzeit der Bäder verlängern und die Auflösung des Metalls beschleunigen.

Elektrochemische Verfahren arbeiten dagegen meist schneller und kostengünstiger. Sie werden für die Entmetallisierung von Gestellkontakten bevorzugt.

Die Prozesswässer sind stark metallhaltig. Die Metalle können z. B. elektrochemisch zurückgewonnen werden. Nickelsulfat kann durch **Kühlkristallisation** recycliert werden. **Bei chemischen Entmetallisierungsbädern müssen die Komplexbildner zerstört werden.**

Die Bezirksregierung Arnsberg hat für die Anlagenbetreiber in übersichtlichen Tabellen - geordnet nach Verfahren - zusammengestellt, welche luftseitigen Emissionen zu erwarten sind und welche gesetzlichen Anforderungen zur Lufteinhaltung gestellt werden www.bezreg-arnsberg.nrw.de/dieBezirksregierung/aufbau/abteilungen/abteilung5/dezernat53/emissionsrelevanz/index.html. Sie bietet Ihnen die Möglichkeit, Ihre Erfahrungen mitzuteilen und dadurch beizutragen, dass diese Arbeitsgrundlage regelmäßig vervollständigt und fortgeschrieben werden kann (Adresse: Werner Baumann, E-Mail: werner.baumann@bezreg-arnsberg.nrw.de, Tel. 0231/5415-468).

Chromatierung

Die Chromatierung dient dem **Schutz vor Korrosion** und **dekorativen Zwecken** (z. B. Farbgebung, Schwarzchromatierung). Man setzt die Chromatierung insbesondere ein bei:

- **Zink zur Farbgebung** (gelb, blau, oliv, und schwarz) und **zum Korrosionsschutz**. Weiterhin kann mit der Chromatierung von Zink ein guter Haftgrund für eine nachfolgende Lackierung erzielt werden.
- **Kupfer und Nickel** als farblose Schutzschicht gegen unkontrollierte Oxidation (Fleckenbildung, Anlauffarben).

Chromatierlösungen stehen, je nach Zweck, in unterschiedlichen Zusammensetzungen zur Verfügung. **Sie enthalten Cr VI und Cr III, Nitrat-, Fluorid-, Sulfat-, Chlorid oder Phosphatverbindungen**. Chromatierbäder werden in der Regel bei Raumtemperatur betrieben.

Bild: Chromatierbad

Quelle: Fa. Leistner

Nach dem ElektroG und der AltfahrzeugV sind Cr VI-Verbindungen bis auf wenige Ausnahmen verboten. Chromatschichten, insbesondere gelb, oliv und schwarz, enthalten Cr VI. Daher ist die Chromatierung für Bauteile in Fahrzeugen Elektro- und Elektronikgeräten nur noch stark eingeschränkt zulässig. Eine Alternative z. B. bei Schrauben ist die Dickschichtpassivierung (Cr III-haltige Schicht).

Spülverfahren

Werkstücke die in Flüssigkeiten behandelt wurden, müssen in der Regel vor dem folgenden Behandlungsschritt gespült werden. Damit soll die Verunreinigung des Folgebades durch Ausschleppungen vermindert werden.

Das **erforderliche Spülergebnis wird durch das sogenannte Spülkriterium (R) beschrieben**, dem Quotienten aus der eingetragenen Konzentration und der nach dem Spülen zu erreichenden Endkonzentration in der jeweils am Werkstück haftenden Lösung. Die Qualität des Spülergebnisses, sprich das einzuhaltende Spülkriterium, hängt von den Anforderungen des Folgebads ab.

Grafik: Spülkriterium

Quelle ABAG-itm, Pforzheim

Die richtige Spültechnik ist einer der wesentlichen Schlüssel zur stoffverlustminimierten Galvanik

- Durch eine **Kaskadenspülung** und Kreislauftechniken kann der Wasserverbrauch deutlich reduziert werden
- Durch **Aufkonzentrierung und Rückführung von Spülwässern** ins Prozessbad kann eine teilweise Kreislaufführung erreicht werden

Unterschiedliche Spülverfahren und Kaskadenspülung

Stand- und Fließspülen

Grundsätzlich wird zwischen **Stand- und Fließspülen** unterschieden. **Standspülen** haben keinen Zu- oder Ablauf. Bei Erreichen von bestimmten Konzentrationen von Chemikalien der Vorstufen oder Verunreinigungen wird die Spülflüssigkeit komplett ausgetauscht, entsorgt oder recycelt. Standspülen haben einen geringen Wasserverbrauch, sind aber ungeeignet ein hohes Spülkriterium zu erfüllen. Sie werden daher häufig als Vorspüle vor dem eigentlichen Spülprozess eingesetzt. Das sich dabei ergebende (Halb-)konzentrat kann oft ins Prozessbad zurückgeführt werden. **Fließspülen** haben Zu- und Abläufe, durch die kontinuierlich oder diskontinuierlich die Spülflüssigkeit ausgetauscht wird. Mit Fließspülen können hohe Abreinigungsgrade erfüllt werden, allerdings ist der Wasserverbrauch sehr hoch. Fließspülen werden oft als letzte Spülstufe (Schlussspüle) eingesetzt, dabei kann das Wasser über einen Ionenaustauscher im Kreis gefahren werden.

Spritzspüle

Spritzspülen sind Abspritzeinrichtungen, die beispielsweise über einem heißen Prozessbad angebracht werden. Dadurch werden die Verdunstungsverluste des heißen Bades ausgeglichen und ein Teil der ausgeschleppten Prozesslösung zurückgeführt. Bei Platzmangel werden Abspritzeinrichtungen auch über einem Spülbad angebracht, um einen zusätzlichen Vorreinigungseffekt zu erzielen und damit das eigentliche Spülbad zu entlasten.

Mehrfachspülen / Kaskaden

Kaskaden oder Mehrfachspülen sind hinter einander geschaltete Einzelspülen, die vom Werkstück Schritt für Schritt durchlaufen werden. **Durch die Hintereinanderschaltung kann der Spülwasserverbrauch, bei vorgegebenem Spülkriterium drastisch vermindert werden**.

Wassersparende Spültechniken

Mittels einer **geeigneten Spültechnik kann sehr viel Wasser eingespart werden**. Als wassersparende Spültechniken gelten:

- Kaskadenspülung
- Spritzspültechniken
- Mehrfachnutzung des Spülwassers durch Kreislaufführung

Kaskadenspültechnik

Ein bestimmtes Spülergebnis (Spülkriterium) erfordert bei mehreren Spülstufen insgesamt sehr viel weniger Wasser als bei nur einem Bad. Deshalb sollten wo immer möglich Mehrfachspülen installiert und zu Kaskaden verbunden werden. Das Wasser wird bei dieser Spültechnik im Gegenstrom zum Werkstückdurchsatz geführt. Der Wasserverbrauch lässt sich vereinfacht mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$\dot{Q} = \sqrt[n]{R} \quad \dot{V}$$

Q … Spülwasserbedarf in (l/h)
n … Anzahl der Spülstufen
R … Spülkriterium (co/cn)
V … Ausschleppungsmenge je Zeiteinheit (l/h)

In der untenstehenden Tabelle ist der jeweilige Wasserverbrauch in Abhängigkeit vom Spülkriterium und der Stufenzahl der Kaskade angegeben. Es zeigt sich, dass der relativ höchste Einspareffekt bereits beim Übergang von ein- auf zweistufige Spülung zu verzeichnen ist. **In der Praxis werden meist 3- Stufige Kaskaden eingesetzt.**

Tabelle: Wasserverbrauch in Abhängigkeit vom Spülkriterium und der Anzahl der Stufen

Spülkriterium	10.000	5.000	1.000	200
Stufenzahl	Spülw. (l/h)	Spülw. (l/h)	Spülw. (l/h)	Spülw. (l/h)
1-stufig	10.000	5.000	1.000	200
2-stufig	100	71	32	14
3-stufig	22	17	10	6
4-stufig	10	8	6	4
5-stufig	6	5	4	3

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Die Kaskaden können auf zwei Arten betrieben werden:

- **Kontinuierlich**: Das Wasser der einzelnen Gegenstromspülen läuft jeweils kontinuierlich in die von den Werkstücken zuvor durchlaufene Spüle und danach zur Prozesswasserbehandlung. Soll der Kreislauf geschlossen werden, wird das Wasser aus der ersten Spüle über einen Konzentrator in das Prozessbad oder zur Zwischenlagerung in einen Speicher geleitet .
- **Diskontinuierlich:** Das Wasser der einzelnen Spülen wird bei Erreichen einer bestimmten Konzentration in der letzten Stufe in die jeweils vorhergehende Stufe umgepumpt. Dazu wird zunächst der Inhalt der ersten Spüle in einen Zwischenspeicher gepumpt.

Spritzspülentechnik

Spritzspültechniken, die mit einer Spülwassermenge von 10-30 l pro Quadratmeter durchgesetzten Materials auskommen, **gehören ebenso wie die Kaskadenspültechnik zu den wassersparenden Spültechniken**. Die Spritzspüle kann eine Stufe der Kaskade ersetzen und wird bei Platzmangel oft eingesetzt. Die Spritzspülentechnik wird zudem häufig bei ebenen, flächigen Teilen eingesetzt (Bleche, Leiterplatten). Unregelmäßige Oberflächen können durch Spritzspülen nur unvollständig gereinigt werden.

Graphik: Kaskadenspülung mit Spritzspüle

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Mehrfachnutzung des Spülwassers durch Kreislauftechnik

Die **Spülwässer können über einen Ionenaustauscher im Kreis gefahren werden**. Diese Technik wird z. B. **häufig bei der Schlussspüle angewandt**, in der nur noch geringe Restkonzentrationen an Fremdionen anfallen.

Zu beachten ist hier, dass die Ionenaustauscherharze regelmäßig regeneriert werden müssen. Bei der Regeneration fallen Eluate an (ca. 0,2 - 1 % des durchgesetzten Spülwassers), die als Konzentrat entsorgt oder in der betrieblichen Abwasserbehandlungsanlage behandelt werden müssen.

Hinweis:
Verschiedene Hersteller von Ionenaustauschern bieten ein Rücknahmesystem mit externer Regeneration der Harze an. Hierzu erhalten Sie Informationen von ihrem Anlagenhersteller oder Harzlieferanten.

Rückführung und Aufarbeitung von Prozessbädern

Spülwässer aus der ersten Spülstufe erreichen meist 50 % der Konzentration des Prozessbades. Durch geeignete Aufkonzentrationsverfahren können diese **Spülbäder in das Prozessbad zurückgeführt** und damit die ausgeschleppte Prozesslösung direkt zurückgewonnen werden.

Bei warm arbeitenden Prozessbädern können die Spülbadhalbkonzentrate direkt, ohne zusätzliche Aufkonzentrierung, zum Ausgleich von Verdampfungsverlusten verwendet werden.

Um Fehlinvestitionen auszuschließen, **muss vor Einführung von Rückführungsverfahren geprüft werden, ob alle in der Prozesslösung enthaltenen Prozesschemikalien für den Einsatz solcher Verfahren geeignet sind. Dies wird durch Versuche und in Abstimmung mit dem Chemikalienlieferanten ermittelt**.

Aufkonzentration durch Verdunster

Verdunster werden **vorzugsweise bei warm arbeitenden Prozesslösungen** eingesetzt. Sie benötigen **keine oder nur wenig zusätzliche Energie.**Sie sind deswegen aber auch verfahrenstechnisch weniger flexibel einsetzbar als Verdampfer.

Bei der Verdunstung wird das Spülwasser fein verteilt mit Luft in Verbindung gebracht. Dabei verdunstet ein Teil des Wassers. Die Tröpfchen werden anschließend in einem Tropfenabscheider, evtl. zusätzlich noch einem Aerosolabscheider von der Luft abgetrennt und als Konzentrat zurückgeführt. Die Leistung des Verdunsters ist von der Lufttemperatur und -feuchtigkeit abhängig.

Ein **Anwendungsbeispiel sind Chromelektrolyte**. Bei diesen warm arbeitenden Verfahren kann die ausgeschleppte Chromsäure nahezu vollständig zurückgewonnen werden kann. Die für das Verdunsten erforderliche Energiemenge entspricht in etwa der Energie, die infolge schlechter Stromausbeute als Wärmeenergie im Prozessbad freigesetzt wird. **Somit kann das System energieautark betrieben werden**, indem die Überschusswärme des Chrombades als Wärmequelle für den Verdunster genutzt wird.

Weitere Anwendungsbereiche für Verdunstungsverfahren sind die schwachsauren oder cyanidischen Verzinkungsprozesse.

Aufkonzentration durch Verdampfer

Verdampfer benötigen zusätzliche Energie. Industriell eingesetzte Verdampfer arbeiten bei Temperaturen zwischen 40°C und 100°C und bei Arbeitsdrücken zwischen 0,1 und 1 bar. In der Regel sind die in der Galvanik eingesetzten Verdampfer mit Energierückgewinnung ausgestattet (Vakuumverdampfer mit Brüdenverdichtung oder Wärmepumpe). Der **Energiebedarf liegt bei ca. 150 - 200 kWh je Kubikmeter verdampftes Wasser**.

Bei **temperaturempfindlichen Elektrolyten** (z. B. solche mit organischen Zusätzen) können Vakuumverdampfer eingesetzt werden, die bei deutlich niedrigeren Temperaturen arbeiten.

Der Verdampfer ist in der Praxis universeller einsetzbar als ein Verdunster, da seine Leistung unabhängig von den verfahrenstechnischen Randbedingungen regelbar ist.

Grafik: Aufkonzentration und Rückführung von Spülbädern durch Verdunstung oder Verdampfung

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Einsatzstoffe

In galvanischen Betrieben wird eine Vielzahl von Einsatzstoffen angewandt. In der Vorbehandlung sind es Reinigunsmittel, z. B. **Tenside oder Lösungsmittel** (Details: Metall > Einsatzstoffe > Reinigen). Weiterhin werden hier **Säuren, teilweise auch Laugen,** zur Entfernung von Korrosionsschichten und zur Aktivierung der Oberfläche genutzt.

Grafik: Prozessschritte und Einsatzstoffe bei der Metallabscheidung

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Die **galvanische Abscheidung von Metallen** kann in unterschiedlichen Wirkbädern stattfinden. Grundsätzlich besteht der Elektrolyt aus **Wasser, Metallsalzen und Zusatzstoffen** (sog. Additive, organische Substanzen, wie Einebner, Glanzbildner). Die Zusammensetzung der Elektrolyte im Wirkbad ist je nach Anforderung vielfältig.

Nach der Beschichtung erfolgt meist eine Nachbehandlung, die der Verbesserung des Korrossionsschutzes und der optischen Erscheinung dient. Ein wichtiges Verfahren ist die Chromatierung.

Sämtliche Behandlungsschritte erfolgen im Tauchverfahren. Größere Werkstücke (Ware) sind an Gestellen aufgehängt, unempfindliche Kleinteile werden in Trommeln durch die Bäder transportiert.

Ausschleppungen und Verunreinigungen

Bei jedem Tauchvorgang wird Prozesslösung mit dem Werkstück ausgeschleppt, die anschließend in einem Spülbad abgereinigt werden muss, um eine Verunreinigung der Folgebäder zu vermeiden. **Die Ausschleppung ist daher durch geeignete Maßnahmen möglichst gering zu halten** (näheres siehe Metall >Galvanik > Spülen > Ausschleppung).

Bild: Galvanischer Betrieb

Quelle: Fa. Schwarze & Linder GmbH & Co. KG

Behandlung von Elektrolyten

In galvanischen Bädern reichern sich einerseits durch Verschleppungen aus den vorgeschalteten Bädern, durch Verschmutzungen der Werkstücke und andererseits durch chemische Reaktionen in den Bädern **Störstoffe** an. Dies führt in der Regel zu einer Verschlechterung der Abscheideleistung und der Beschichtungsqualität und schließlich zur Unbrauchbarkeit der Wirkbäder. **Deshalb müssen die Bäder gepflegt, regelmäßig regeneriert und nachgeschärft werden. Kann mit diesem Maßnahmen die Funktionalität nicht mehr erhalten werden, so ist ein Badaustausch erforderlich.** Verworfene Bäder und Ausschleppungen in Spülbäder müssen in einer Abwasser-aufbereitungsanlage behandelt oder als Sonderabfall entsorgt werden. Zur **Regeneration der Wirkbäder** werden die Elektrolyte durch technische Maßnahmen wie beispielsweise Filtration, Elektrolyse oder Aktivkohlebehandlung gereinigt. Damit kann die Standzeit deutlich verlängert und die Kosten für den Neuansatz der Bäder verringert werden.

Zusammenfassend ergeben sich die folgenden **Ansatzpunkte zur Verminderung der Stoffverluste** in galvanischen Betrieben:

1. Die Werkstücke sollten möglichst sauber in den Prozess eingebracht werden, um den Störstoffeintrag insgesamt zu verringern
2. Verlängerung der Nutzungsdauer für Prozesslösungen. Dies wird im Wesentlichen durch die **optimierte Reinigung der Werkstücke** und die damit verbundene Senkung des Fremdstoffeintrages erreicht
3. Verlängerung der Nutzungsdauer für Prozesslösungen durch **Reinigung und Regenerierung der Bäder**
4. **Minimierung der Elektrolytausschleppungen** aus der Prozessstufe durch Konzentrationssenkung in der Prozesslösung und/oder Senkung der spezifischen Elektrolytausschleppung

5. Verbesserung der Rückführung für ausgeschleppte Prozesslösungen, z. B. durch **Minimierung der Spülwasserströme**. Damit wird der Aufwand für prozessspezifische Konzentratoren verringert
6. Teilstromableitung (Spülwasser, Konzentrate) und –behandlung zur **Erhöhung des Verwertungsgrades** für den nicht vermeidbaren Stoffüberhang

Reduzierung von Ausschleppungen

Ausschleppungen sind eine wesentliche **Quelle für Abwässer und Abfälle aus der Galvanik**. Die an den Werkstücken anhaftenden Badflüssigkeiten werden in Spülbädern verdünnt und müssen, soweit sie nicht wieder aufbereitet werden können, der Abwasserbehandlung zugeführt werden. Mit den Ausschleppungen werden neben organischen Schadstoffen (Additive in galvanischen Bädern) vor allem Schwermetalle in den Abwasserstom eingebracht. Diese **Schwermetalle müssen in der Abwasserbehandlungsanlage kostenintensiv durch Fällung, Flockung und Abpressen aus dem Abwasserstrom entfernt** werden.

Die **Ausschleppung** aus dem Prozessbad kann durch eine **konstruktive Änderung** der Werkstücke, **organisatorische Maßnahmen** wie die **Anordnung der Werkstücke** auf den Warenträgern oder technische Maßnahmen wie die Verlängerung der **Abtropfzeit** verringert werden. Neben den Werkstücken und ihrer Handhabung spielen auch die physikalischen Eigenschaften des Bades, wie z. B. die **Viskosität und die Konzentration**, eine wichtige Rolle.

Bild: Galvanik mit Gestellware

Quelle: Leiterplattencentrum Ralf Smyczek

Richtwerte für Ausschleppungen

Die Ausschleppung wird in ml/m² (Fläche der Werkstücke) angegeben. Sie ist stark von der Geometrie, den Eigenschaften des Prozessbades und der Fahrweise abhängig. **Allgemeine Richtwerte sind daher schwer anzugeben**. Es wurden jedoch theoretische Mindestwerte ermittelt, die zumindest einen Anhaltspunkt für die zu erreichende minimale Ausschleppung darstellen. **Für flache und gut aufgehängte Werkstück werden üblicherweise ca. 100 ml/m²**, **für profilierte Werkstücke werden Verschleppungen von ca. 250 ml/m²** erreicht. Vor allem bei älteren Anlagen liegen die tatsächlichen Ausschlepprate deutlich höher. Entsprechend hoch ist hier das Verbesserungspotenzial.

Ermittlung der Verschleppung

Die Verschleppung ermittelt man empirisch am besten indem man eine definierte Menge an Werkstücken durch ein frisches Spülbad fährt und die dadurch verursachte Erhöhung der Konzentration im Spülbad misst.

Verminderung von Ausschleppungen durch konstruktive und organisatorische Maßnahmen

Teile die galvanisiert werden sollen, **müssen geeignete Werkstoffe aufweisen, galvanikgerecht konstruiert und gefertigt werden**. Für die Qualität einer galvanischen Beschichtung ist u.a. die Homogenität (Porenfreiheit) und Sauberkeit der Werkstückoberfläche wesentlich. Die Verschleppung ist insbesondere von der Profilierung der Werkstücke oder gar schöpfenden Teilen abhängig. Da sich beide Forderungen nicht widersprechen, kann die **Ausschleppung durch konstruktive Maßnahmen deutlich vermindert werden**.

Unter **galvanisiergerechtem Konstruieren** versteht man insbesondere:

- galvanisiergerechte Auswahl der Grundwerkstoffe in Verbindung mit einem geeigneten Schichtwerkstoffsystem
- galvanisiergerechte Konstruktion (z. B. Vermeidung von Sacklochbohrungen)
- galvanisiergerechte Werkstückfertigung (z. B. glatte und fettfreie Oberfläche)

Dabei sollten die **folgenden Vorgaben berücksichtigt** werden:

- zur Gewährleistung einer gleichmäßigen Beschichtung sind **scharfe Kanten, Spitzen oder Hohlräume zu vermeiden**
- Werkstücke müssen so gestaltet sein, dass sie **sicher an einem Gestell aufgehängt und elektrisch kontaktiert** werden können
- **Trommelware sollte eine möglichst einfache Oberfläche** haben, damit sie sich in der Trommel gut bewegen kann und sich nicht gegenseitig verhakt.
- Zur Verminderung von Ausschleppungen sollten insbesondere **Vertiefungen, Sacklöcher, Gewinde, Falze oder Spalte vermieden** werden
- Sind Vertiefungen und Bohrungen nicht zu vermeiden, so sollten **Ablauflöcher** vorgesehen werden.

Bild: Trommelanlage

Quelle: Fa. Driesch

Neben den Werkstücken sind **diese Vorgaben auch für die Gestelle und Trommeln** zum Warentransport zu beachten.

Für Gestelle und Trommeln gilt zudem:

- Die Aufhängevorrichtungen sollten so angeordnet sein, dass **kleinere Teile versetzt** und **lange Teile schräg** aufgehängt werden können.
- Bei **Trommeln sollte die Perforierung** möglichst groß gewählt werden, um zu vermeiden, dass über die Oberflächenspannung größere Mengen ausgeschleppt werden.
- **Waagrechte Teile sollten vermieden** und durch schräge Verstrebungen ersetzt werden
- Die Gestellisolierung muss **ohne Tropfnasen** ausgeführt sein
- **Metallablagerungen an den Kontaktstellen sollten regelmäßig entfernt** werden.

Verminderung von Ausschleppungen durch technische Maßnahmen

Neben den zuvor beschriebenen konstruktiven und organisatorischen Maßnahmen sind weitere verfahrenstechnische Ansätze zur Verringerung der Ausschleppung sinnvoll.

Verschleppungsraten sind neben den konstruktiv bedingten Einflüssen auch eine Funktion der **Viskosität und Dichte des Prozessbades sowie der Austauchgeschwindigkeit und der Abtropfzeit**.

- Die Prozesslösungen sollte mit einer möglichst **niedrigen Konzentration** gefahren werden. Dadurch verringert sich der Metallgehalt in der ausgeschleppten Lösung
- Die **Viskosität** kann durch eine höhere Badtemperatur und die **Oberflächenspannung** durch die Zugabe von Tensiden verringert werden, dadurch verbessert sich das Abtropfverhalten.
- Die Ware sollte möglichst gleichmäßig und mit **angepasster Geschwindigkeit aus dem Bad herausgefahren** werden. Solange der Flüssigkeitsfilm zwischen Ware und Bad besteht läuft die Lösung besser ab.
- Das **Abtropfen** der Ware über den Prozessbad kann unterstützt werden durch
    - Einhalten der optimalen Abtropfzeit
    - Drehbewegungen der Trommel
    - ruckweises Bewegen der Gestelle (Abrütteln) oder
    - Abblasen von Prozesslösung

Das Verändern der Badparameter wie Temperatur, Konzentration oder die Zugabe von Tensiden ist nur innerhalb der zulässigen Toleranzen möglich. **Wichtig ist hierbei die regelmäßige Kontrolle der Badparameter, um stets im optimalen Bereich zu fahren.**

Mit **wannenverbindenen Abtropfblechen** kann die Prozesslösung zurückgeführt und verhindert werden, dass die Lösung auf den Boden tropft. Bei warmen Bädern kann die Ware über dem **Prozessbad abgespritzt und damit gleichzeitig Verdunstungsverluste** ausgeglichen werden.

Die optimalen Zeiten für das Abtropfen und das Herausfahren der Gestelle aus dem Bad sollten regelmäßig experimentell ermittelt werden. **Richtwert für die Abtropfzeit sind ca. 10 – 15 s bei Gestellen bei Trommeln geht man von ca. 30 s aus.** Dabei muss allerdings darauf geachtet werden, dass der Elektrolyt nicht antrocknet.

Auswahl - Beizen und Säuren

Beizen und Säuren werden nach der Entfettung als Vorbehandlung zur **Entfernung von Oxidschichten** auf metallischen Oberflächen eingesetzt. Mit dem Beizen werden insbesondere auch Oxide, die sich nach dem **Schweißen und Löten** an der Oberfläche gebildet haben, entfernt.

Ziel dieses letzten Behandlungsschritts vor der elektrochemischen Beschichtung ist es, eine ebene und saubere Oberfläche zu erzielen. In vielen Fällen wird noch ein so genanntes Dekapierbad zwischen Beizen und Beschichten geschaltet, das aus einr schwachen Säure besteht und letzte Anhaftungen vom Werkstück entfernen soll.

Als Säuren werden meist **Schwefel- und Salzsäure** verwendet. Für spezielle Anwendungen werden auch **Salpeter-, Fluss- oder Phosphorsäure** verwendet. Bei **Aluminium werden alkalische Beizen** eingesetzt.

Die Metalloxide werden von der Oberfläche entfernt, wobei die Säure verbraucht wird und sich Metallsalze in der Lösung anreichern. Beim Beizen wird meist auch ein Teil des Grundmetalls durch die Säure aufgelöst.

Der Einsatz von Säuren bedeutet immer eine Gefährdung der Umwelt und der Mitarbeiter. **Eine umweltfreundliche Alternative sind biologische Entrostungsmittel**. Nähere Informationen siehe Metall > Galvanik > Verfahren > Vorbehandlung > Beizen.

Verworfene Beizbäder haben durch den Anreicherungseffekt hohe Metallgehalte und tragen in der Abwasserbehandlung in erheblichem Maß zu Bildung von **Galvanikschlamm** bei (Fällung). Die Verlängerung der Standzeit und die Regenerierung von Beizen ist daher ein wirksamer Schritt zur Verminderung von Schlammabfällen.

Bild: Beizbad für lange Rohre

Quelle: Fa. ORT Oberflächentechnik GmbH

Umweltgerechter Umgang mit Beizen und Vermeidung von Abfällen

Ansatz von Beizlösungen und Fahrweise

Beizen wirken nur, wenn das Werkstück von der Beizlösung gut benetzt werden kann. Die Werkstücke müssen daher **absolut fettfrei und frei von großflächigen, abdeckenden Verunreinigungen** sein. Zunderschichten können durch Beizen entfernt werden, indem das Grundmetall teilweise gelöst und so die Verbindung zwischen Zunder und Metall geschwächt bzw. gelöst wird.Ein leichter **Abtrag des Metalls** kann also durchaus erwünscht sein, um Zunderschichten zu beseitigen. Die abgelösten **Feststoffe müssen durch Filtration** aus dem Bad entfernt werden.

Eine zunehmende Versprödung des Metalls durch Wasserstoff und ein zu starker Angriff der Säure auf das Metall (Lochfraß) muss durch die entsprechende Konzentration und Temperatur der Säure vermieden werden. Zudem können **Beizinhibitoren** zugesetzt werden, die die Wasserstoffentwicklung unterdrücken. Typische Parameter für unterschiedliche Beizlösungen sind in untenstehender Tabelle dargestellt.

Tabelle: Anwendungsbereiche verschiedener Säuren

Säure	Arbeitstemperatur (°C)	Konzentration (ml/l)	Max. Eisengehalt (mg/l)	Bemerkung
Schwefelsäure	60	25	8	Absaugung
Salzsäure	18 - 22 30 - 35	200 - 500	12	Absaugung
Flussäure	35 - 40	20 - 25		Hohe persönliche Schutzmaßnahmen erforderlich
Phosphorsäure	40 - 50 80	10 - 15	2,5	Für Chassis und Rahmenteile

Quelle: Bosse et. Al.; 2006 - Anmerkung: konz. Salpetersäure wird nur zu "Weißbrennen" (sehr saubere Oberfläche) eingesetzt. Es entstehen nitrose Gase.

Wie in der Tabelle dargestellt sind für jede Säure neben der Vermeidung von Verätzungen, spezifische Schutzmaßnahmen insbesondere zum Schutz der Atemwege erforderlich. Weitergehende Informationen sind im **Sicherheitsdatenblatt** enthalten.

Zur Verlängerung der **Standzeit können Säuren nachgeschärft** werden. Wird die maximale Metall(salz)konzentration im Bad erreicht (in der Tabelle Maximalkonzentration für Eisen), ist ein weiteres Nachschärfen wirkungslos und das Bad muss entsorgt oder vollständig aufbereitet werden.

Hinweis:

Grundsätzlich werden umso mehr Metallionen im Beizbad gelöst, je länger das Werkstück der Beize ausgesetzt wird. Die Beizdauer hat daher, neben der Temperatur und der Konzentration, entscheidenden Einfluss auf die Lebensdauer des Bades. Die Dauer des Beizens sollte daher auf das erforderliche Minimum beschränkt werden, z. B. durch die automatische Regelung der Beizdauer.

Entfernung von Metallsalzen aus Beizbädern

Durch die steigende Konzentration von Metallsalzen in Beizbad nimmt die Beizwirkung ab. Die Standzeit von Beizbädern kann nur durch stetige Regeneration der Lösungen verlängert werden.

Zur **Regeneration von Beizbädern** sind unterschiedliche Verfahren erprobt

- Entfernung von Eisensulfat aus schwefelsauren Eisenbeizen durch **Kühlkristallisation**
- Entfernung von Kupferionen aus schwefelsauren Kupferbeizen durch **Elektrolyse**
- Entfernung von Eisenionen aus schwelfesauren Eisenbeizen durch **Membranelektrolyse**
- Entfernung von Fremdmetallionen aus Phosphorsäurebeizen durch **Ionenaustauscher**
- Rückgewinnung der freien Säure durch **Retardation** oder **Diffusionsdialyse**

Die vier ersten Verfahren wurden bereits an anderer Stelle, entsprechend der Links in der obigen Aufzählung, beschrieben. Die **Retardation und die Diffusionsanalyse** ermöglichen die Abtrennung von Metallionen, die sich in der Beize anreichern. Die freie Säure in den Bädern kann dadurch weitgehend zurück gewonnen und ins Prozessbad zurückgeführt werden.

Grafik: Säure-Retardation

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Bei der **Retardation** wird die Säure in einem Anionenaustauscher angereichert. Diese Säure wird anschließend mit Wasser ausgewaschen und kann ins Prozessbad zurückgeführt werden.

Grafik: Diffusionsanalyse

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Bei der **Diffusionsdialyse** werden Anionenaustauschermembranen eingesetzt, die die Säureanionen und die Wasserstoffionen leicht passieren lassen, die Metallionen dagegen zurückhalten. Die Säureionen diffundieren durch die Membran in das VE-Wasser und reichern sich dort an.

Abfälle aus Beizprozessen

Metallabtragende Prozesslösungen (z. B. Beizen, Dekapierungs- und Aktivierungslösungen) ändern sich während ihrer Verwendung in der Zusammensetzung und müssen bei Erreichen einer bestimmten Störstoffkonzentration ersetzt werden. **Sie besitzen deshalb im Vergleich zu galvanischen Elektrolyten eine relativ kurze Standzeit und müssen ordnungsgemäß entsorgt werden**.

Die **verbrauchten Beizen (Säuren und Laugen)** werden entweder intern über die **Abwasserbehandlung** oder extern über chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen entsorgt. Entsprechend der **AVV** sind diese flüssigen Abfälle als

- 11 01 05* saure Beizlösungen oder
- 11 01 07* alkalische Beizlösungen

zu deklarieren.

Verbrauchte **wässrige Spülflüssigkeiten** werden ebenso wie die verworfenen Beizbäder entweder intern über die Abwasserbehandlung oder extern über chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen entsorgt und sind als

- 11 01 11* wässrige Spülflüssigkeiten, die gefährliche Stoffe enthalten
- 11 01 12 wässrige Spülflüssigkeiten mit Ausnahme derjenigen, die unter 11 01 11* fallen

zu deklarieren.

Auswahl der Elektrolyte

Die galvanische Abscheidung von Metallen kann in unterschiedlichen Wirkbädern stattfinden. Der **Elektrolyt** besteht im Wesentlichen aus Wasser, Metallsalzen und Zusatzstoffen (sogenannte Additive, meist organische, wie Einebner, Glanzbildner). Die Zusammensetzung der **Elektrolyte** im Wirkbad ist je nach Anforderung und je nach Anwendung verschieden. Sie unterscheidet sich in Bezug auf

- die Art der **Metallionen** (z. B. Cu, Zn, Ni)
- die **Konzentration der Metallionen**
- Art und Zusammensetzung der **Anionen**
- den **pH-Wert**
- Art und Konzentration der **organischen Zusätze** (Glanzbildner, Tenside, Korrosionsinhibitoren)

Die galvanische Behandlung erfolgt im Tauchverfahren. Die Werkstücke (Ware) sind an Gestellen aufgehängt, Kleinteile werden in Trommeln durch die Anlagenn transportiert.

Badpflege

In galvanische Bäder werden durch die Werkstücke und die Umgebung **Störstoffe** eingetragen sowie durch interne Zersetzungsprozesse neu gebildet. Zudem werden durch den Beschichtungsprozess Wirkstoffe verbraucht. **Um die Standzeit des Bades zu verlängern, müssen verbrauchte Wirkstoffe ersetzt (Nachschärfen) und Störstoffe entfernt (Filtrieren) werden.**

Um die Nachdosierung und die Reinigung des Bades gezielt vornehmen zu können, ist bei galvanischen Prozessen eine **analytische Prozesskontrolle** erforderlich. Metallgehalte werden meist direkt über Titration bestimmt. Wichtig im Rahmen der Prozesskontrolle ist aber auch die Überwachung der Leitfähigkeit, des **pH**-Werts und der Temperatur des Bades.

Kreislaufführung der Wirkbäder

Bei jedem Tauchvorgang wird Elektrolyt mit dem Werkstück ausgeschleppt, der sich anschließend im Spülbad anreichert. Durch Kaskadenspülung kann erreicht werden, dass sich das ausgeschleppte Wirkbad in einer **Spülstufe soweit anreichert, dass sich eine Aufkonzentrierung und Rückführung ins Prozessbad** lohnt. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass Störstoffe vor der Rückführung entfernt werden.

Weitere Informationen hierzu finden Sie im Bereich Metall > Galvanik > Einsatzstoffe > Elektrolyt > Vermeidung.

Umweltgerechte Auswahl und Badpflege

Auswahl galvanischer Bäder

Galvanische Bäder werden in erster Linie nach verfahrenstechnischen Gesichtspunkten und den Anforderungen an die Beschichtungsqualität ausgewählt. Für alle Metalle sind verschiedene Badtypen verfügbar. Es sollten daher neben den **technischen Gesichtspunkten auch ökologische Gesichtspunkte in die Auswahl des Badtyps** mit einbezogen werden. Zu berücksichtigen ist z. B., dass bei den meist flexibler einsetzbaren cyanidischen Bädern ein zusätzlicher Aufwand bei der Abwasserbehandlung erforderlich ist (Cyanidentgiftung), der einen höheren Personal- und Materialaufwand erfordert. **Cyanidische Bäder können in einigen Fällen durch saure oder alkalische cyanidfreie Lösungen ersetzt werden**. Ein weiterer **problematischer Stoff ist Cr (VI)**, das für Anwendungen im elektronischen Bereich (ElektroG) und im Automobilbau (AltfahrzeugV) weitgehend verboten ist. **Insbesondere für die Chromatierung sind inzwischen Alternativen auf Chrom (III)-Basis verfügbar**. Es sollte zudem auf die jeweils optimale Badkonzentration geachtet werden. Insbesondere teure Zusätze, wie Einebner oder Glanzbildner sollten nur in dem Maß wie erforderlich eingesetzt werden.

Badkontrolle

Bei galvanischen Bädern sollte eine **Reihe von Parametern kontrolliert** werden, um Rohstoffe zu sparen, Ausschleppungen zu verringern und die Qualität der Beschichtung zu sichern. Wesentliche und einfach zu messende Größen sind die Temperatur, die Dichte und die Leitfähigkeit. Die **Metallkonzentrationen** in den Bädern werden meist über eine Tritration bestimmt. So kann mit Hilfe dieser Überwachung die Badzusammensetzung in der Nähe des optimalen Bereichs gehalten werden.

Bild: Oberflächenmesstechnik, Qualitätsüberwachung der Beschichtung

Quelle: Universität Dortmund

In galvanischen Bädern laufen jedoch komplexe chemische und physikalische Prozesse ab, die sich oft einer exakten Messung entziehen. Es werden daher meist eine Reihe wichtiger Einzel- und Summenparameter gemessen und überwacht. Wichtig gerade auch für die Verminderung der Ausschleppungen sind die Parameter Temperatur und Viskosität des Bades, die einfach und direkt gemessen werden können. Eine wichtige Kenngröße für die Metallabscheidung und daher für den Beschichtungsprozess ist die Strom-Spannungskurve, die ebenfalls indirekt eine Aussage über die Badkonzentration zulässt. Für die Messung dieser Kenngröße ist eine spezielle Messvorrichtung erforderlich.

Trotz der Bemühungen einer möglichst genauen Badsteuerung, erfolgt ein Teil der Dosierung von Prozessstoffen nach wie vor auf der Basis von Erfahrungen.

Badpflege – Entfernung von Schadstoffen

Neben der **Einstellung der korrekten Badkonzentration** ist es wesentlich, **Störstoffe kontinuierlich abzuscheiden**. Feste anorganische Störstoffe werden weitgehend über die Werkstücke eingeschleppt. Sie entstehen auch im Bad z. B. als Anodenschlamm oder werden als Schmutz über die Luft eingetragen.

Über die Zeit reichern sich Härtebildner (Carbonate, z. B. bei cyanidischen Bädern) an, die durch Kühlkristallisation entfernt werden können.

Durch anodische Oxidation, kathodische Reduktion und andere Abbauprozesse bilden sich aus organischen Zusatzstoffen (z. B. bei Glanznickelbädern) organische Zersetzungsprodukte, die z. B. durch Adsorption an Aktivkohle aus dem Bad entfernt werden müssen.

Filtration - Reinigung von Bädern

Anorganische ungelöste Stoffe können durch Filtration entfernt werden. Als Filter werden Flächen- oder Anschwemmfilter eingesetzt. Die Filter werden im Bypass betrieben und regelmäßig durch Rückspülung gereinigt.

Bei der Reinigung entstehen Filterschlämme, die, ebenso wie verbrauchte Filter, als **gefährlicher Abfall** entsorgt werden müssen.

Bild: Beispiel für einen Anschwemmfilter

Quelle: Fa. Hoffmann Maschinen und Apperatebau

Adsorption

Organische Schadstoffe können durch Adsorption an Aktivkohle aus dem Bad entfernt werden. Dabei ist zu beachten, dass hierbei alle organischen Zusatzstoffe zumindest teilweise mit aus dem Bad entfernt werden. D.h. anschließend müssen organische Hilfsstoffe wieder zudosiert werden.

Die v**erbrauchte, beladene Aktivkohle kann z. B. durch Heißdampf regeneriert werden**. Dabei entsteht ein organisch belastetes Abwasser, das behandelt werden muss.

Verbrauchte Aktivkohle ist Sonderabfall und wird in der Regel in Verbrennungsanlagen entsorgt.

Kühlkristallisation

Die **Kühlkristallisation ist eine Technik, mit der störende Salze selektiv aus einer Prozesslösung abgetrennt werden können**.

Die Salze bilden sich durch Auflösen von Metallen oder Metalloxiden (Beizen) oder durch unerwünschte Reaktionen (Oxidation von Cyanid zu Carbonat). Durch Abkühlen einer Lösung verringert sich die Löslichkeit der meisten Salze, dies aber je nach Salzart in unterschiedlichem Maß. Daher kristallisieren bei Abkühlen einer Lösung mit verschiedenen Salzen jeweils nur bestimmte Salze des vorliegenden Salzgemisches aus, während das restliche Salz in der Lösung verbleibt. Die auskristallisierten Salze können durch Filtration einfach von der verbleibenden Lösung getrennt werden.

Die durch Kühlkristallisation erzielbare **Standzeitverlängerung** hängt davon ab

- welche Salze aus welcher Elektrolytlösung "ausgefroren" werden sollen,
- wie hoch die prozessbedingte Salzbildung ist und
- welche Zeit für die Abreinigungsmaßnahme zur Verfügung steht.

Durch die Verschiedenartigkeit jedes Anwendungsfalles empfiehlt sich die Einzelprüfung auf Einsetzbarkeit.

Die Kühlkristallisation wird praktisch eingesetzt z. B.

- zum Ausfrieren von Soda bei cyanidischen Bädern
- zur Entfernung von Metallsalzen aus sauren Beizlösungen

Abfallvermeidung und interne Wiederaufbereitung

Verbrauchte **Elektrolyte** aus verworfenen Bädern oder Spülwässer erzeugen in der Abwasserbehandlung metallhaltige Galvanikschlämme. Diese Abfälle können durch Verringerung der Ausschleppung (siehe Metall > Galvanik > Einsatzstoffe > Ausschleppung) und Badpflegemaßnahmen (siehe Metall > Galvanik > Einsatzstoffe > Elektrolyte > Badpflege) deutlich verringert werden. Zudem können verschiedene **Elektrolyte durch Reinigungs- und Konzentrationsverfahren z. B. aus Spülwässern zurückgewonnen und wieder eingesetzt werden**. Bei allen diesen Verfahren zur Rückführung und Aufkonzentrierung von Spülwässern findet eine Störstoffanreicherung statt. Dies kann dazu führen, dass das Prozessbad vorzeitig verworfen werden muss und dadurch mehr Abwasser und Galvanikschlamm anfällt als ohne die Rückführung. Bei der direkten Rückführung sind meist entsprechende Reinigungsmaßnahmen zur Entfernung der Störstoffe erforderlich.Vor der Einführung von solchen Kreislaufsystemen sind immer Versuche durchzuführen, um die Stabilität und die Prozesssicherheit des Systems zu gewährleisten.

Direkte Zurückführung von Prozesslösung

Der einfachste Weg zur Rückführung von ausgeschleppten Prozesslösungen besteht darin, Halbkonzentrate aus der ersten Spülstufe direkt in das Prozessbad zurückzuführen. Dies ist z. B. bei warm arbeitenden Bädern sinnvoll, um die Verdampfungsverluste auszugleichen. Hier sind in der Regel Reinigungsmaßnahmen erforderlich, da im Falle der direkten Rückführung sämtliche Störstoffe, die in das Spülbad eingeschleppt wurden auch direkt rückgeführt werden.

Thermische Verfahren: Verdunster und Verdampfer

Bei Verdunstern und Verdampfern wird die verdünnte Prozesslösung durch Verdunsten oder Verdampfen von Wasser eingeengt und ins Prozessbad zurückgeführt. Verdunster können mit Abwärme meist kostengünstiger betrieben werden als Verdampfer. Verdampfer sind meist flexibler einsetzbar als Verdunster. Weitere Ausführungen zu Verdunstern und Verdampfern finden Sie im Bereich Metall > Galvanik > Verfahren > Spülbäder > Rückführung.

Ionenaustauscher

Ionenaustauscher werden zur selektiven Abtrennung störender Kationen oder Anionen aus der Prozesslösung oder Spülbädern eingesetzt. Die Ionen werden im Ionenaustauscher an ein Harz gebunden.

Ionenaustauscher werden für **verschiedene Recyclingzwecke** eingesetzt:

- Rückgewinnung und Kreislaufführung von **Spülwässern**
- Rückgewinnung von **Wertstoffen** aus Spülwässern durch Aufkonzentration
- **Regeneration von Prozesslösungen** durch Entfernen störender Ionen

Bei der Regenerierung der Austauscherharze fallen die zuvor entfernten Ionen in konzentrierter Form an und können ggf. verwertet werden (Metalle) oder müssen entsorgt werden.

Ionenaustauscher sind eine bewährte und sichere Technik.

Bild: Ionenaustauscher Kreislaufanlage

Foto: Fa. UT&S, Birkenfeld

Einsatzbeispiele:

- Selektive Entfernung von metallischen Verunreinigungen aus Chromelektrolyten nach der Aufkonzentrierung des Elektrolyten über einen Verdampfer oder Verdunster
- Kreislaufführung von Spülwasser. Hier werden in der Regel zwei Kationen- und Anionenaustauscher eingesetzt, die die Verunreinigungen aus dem Wasser entfernen.

Elektrolyse

Neben dem Hauptprozess der Metallabscheidung wird die Elektrolyse in der Oberflächentechnik zu folgenden Zwecken eingesetzt:

- kathodische Abscheidung störender Metallionen aus Elektrolyten
- Anodische Oxidation von Chrom(III)-Ionen zur Rückbildung von Chromaten (in der Regel mittels Membranelektrolyse)
- Anodische Oxidation zur Entgiftung cyanidischer Prozesswässer
- Kathodische Abscheidung von Metallen zur Metallrückgewinnung

Die ersten beiden Anwendungsfälle werden zur Pflege und Kreislaufführung von Prozesslösungen, die letzteren beiden in der Abwasserreinigung eingesetzt.

Anwendungsbeispiel:

Aufgrund höherer anodischer Stromausbeute **reichern sich Nickel und Zink im Elektrolyten an,** was zur Qualitätsminderung der Abscheidung führt. Ein Überschuss an anodisch aufgelöstem Nickel lässt sich in manchen Fällen mit Hilfe der elektrolytischen Selektivreinigung aus dem Elektrolyten entfernen.

Bei **Nickelelektrolyten kann das zurück gewonnene Nickel als Anodenmaterial** wieder eingesetzt und das gereinigte Bad als Ersatz für Verdampfungsverluste genutzt werden

Elektrodialyse (ED)

Die ED ist ein **Membranverfahren** mit dem eine Lösung aufkonzentriert werden kann. Dabei entsteht zugleich eine abgereicherte Fraktion (Diluat). Als treibende Kraft für den Ionentransport dient dabei ein elektrisches Feld. In das elektrische Feld sind abwechselnd kationen- und anionendurchlässige Membranen angeordnet, so dass sich mit diesem Verfahren eine sehr gezielte An- und Abreicherung von Ionen erzielen lässt.

Grafik: Schematische Darstellung einer Elektrodialyse

Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Das Verfahren kann aber derzeit noch nicht generell als **Stand der Technik** angesehen werden, da die Trennwirkung von sehr unterschiedlichen Faktoren beeinflusst wird. Der Elektrolyt muss, um die Verstopfung der Poren den Membranen zu vermeiden, **frei von Fest- und Schwebstoffen** sein. Ein Anwendungsbeispiel ist die **Rückgewinnung cyanidischer Kupferelektrolyte** aus dem Spülwasser.

Abwässer aus galvanotechnischen Anlagen

Da galvanotechnische Prozesse generell auf nasschemischen Verfahren basieren, fallen in jedem Galvanikbetrieb belastete Prozesswässer an, die nicht unbehandelt in die Kanalisation eingeleitet werden können. Nur bei sehr kleinen Betrieben, insbesondere aus der Schmuckbranche, sind die Abwassermengen so gering, dass eine externe Entsorgung kostengünstiger, als der Betrieb einer eigenen Abwasserbehandlungsanlage ist.

Die **wesentlichen abwasserrelevanten Herkunftsbereiche** sind:

- Prozess- und Spülbäder aus der **Entfettung/Teilereinigung** mit wässrigen Reinigern
- Prozess- und Spülbäder aus der Vorbehandlung, insbesondere **Beiz- und Dekapierprozessen**
- Prozess- und Spülbäder aus der **elektrolytischen Metallabscheidung**
- Prozess- und Spülbäder von **stromlosen Metallabscheidungsverfahren**, z. B. chemische Vernickelung
- Prozess- und Spülbäder von Nachbehandlungsverfahren, z. B. **Chromatieren**
- Eluate (Regenerate) aus der **Regenerierung von Ionenaustauscherharzen**

Da die Abwassermengen in der Regel erheblich sind, muss sich der Anlagenbetreiber in einem galvanotechnischen Betrieb, auch wenn es sich nur um eine Betriebsgalvanik mit relativ geringem Durchsatz handelt, mit der Abwasserproblematik befassen.

Bevor Sie sich mit konkreten Abwasserbehandlungsverfahren befassen sollten Sie sich

1. einen Überblick über die für galvanotechnische Betriebe geltenden wasserrechtlichen Regelungen (siehe Metall > Galvanik > Abwasserbehandlung > Recht) verschaffen,
2. die gegebenenfalls aus verschiedenen Prozessen **anfallenden Abwasserteilströme mit ihren Mengen und den enthaltenen Schadstoffen (Abwasserkataster) zusammenstellen** und
3. die Möglichkeiten zur Abwasser- und Schadstoffreduzierung durch prozessintegrierte Maßnahmen (Metall > Galvanik > Einsatzstoffe) ausschöpfen

Hinweis:
Um Zusatzaufwand zu vermeiden, sollte man bei der Planung von Abwasserbehandlungsanlagen frühzeitig Kontakt mit den zuständigen Behörden in den Bürgermeister- oder Landratsämtern aufnehmen und damit sicherstellen, dass die gültigen gesetzlichen Anforderungen berücksichtig werden.

Abwasserbehandlung in galvanotechnischen Betrieben

Alle Prozess- und Reinigungsbäder, die nicht mehr gebrauchsfähig sind und die nicht durch Kreislaufführung aufgearbeitet werden können, müssen entweder entsorgt oder in der betrieblichen Abwasseranlage behandelt werden. Die in galvanotechnischen Betrieben anfallenden Bäder und Abwässer weisen teilweise sehr unterschiedliche Inhaltsstoffe auf, die ein Umweltgefährdungspotenzial aufweisen. Ziel der Abwasserbehandlung ist die zuverlässige Abtrennung der **gefährlichen Stoffe**, so dass das behandelte Abwasser unter Einhaltung der wasserrechtlichen Vorgaben in die Kanalisation eingeleitet werden kann.

Hierzu ist ein **großer technischer Aufwand** erforderlich. Hinzu kommt ein **erheblicher Einsatz an Chemikalien**, der zu zusätzlichen Umweltbelastungen führt. **Der Abwasseranfall sollte daher mit erster Priorität durch prozessintegrierte Maßnahmen auf ein Mindestmaß reduziert werden**. Reduzierte Abwassermengen bedeuten kleinere Anlagen (reduzierter Invest und Platzbedarf), in vielen Fällen reduzierte Behandlungskosten (Chemikalien- und Energiebedarf) sowie reduzierte Entsorgungskosten (Schlämme).

Grundsätzlich unterschiedlich sind Behandlungsverfahren für Abwässer, die

- vorwiegend **organische Schadstoffe** (Öle, Tenside usw.) aufweisen wie z. B. wässrige Reinigungsbäder und solche, die
- vorwiegend **anorganische Schadstoffe** (Schwermetalle, Cyanide, Nitrite usw.) enthalten, wie typischerweise die meisten galvanischen Prozess- und Spülbäder.

Auf Behandlungsverfahren für organisch belastete Abwässer wird schwerpunktmäßig im Bereich Metallbearbeitung > Einsatzstoffe > Kühlschmierstoffe > wassermischbare Kühlschmierstoffe > Entsorgung eingegangen. **Verbrauchte wässrige Reiniger können in der Regel gut zusammen mit wassergemischten Kühlschmierstoffen behandelt werden**, da diese die KSS-Emulsion bereits schwächen, was die **Emulsionsspaltung** vereinfacht. Besprechen Sie die Behandlungsmöglichkeiten mit ihrem Chemikalienhersteller und ggf. dem Anlagenlieferanten.

Behandlung von anorganisch belasteten Abwässern

Die Behandlung von Abwässern, die Schwermetalle und sonstige gefährliche Stoffe enthalten muss nach dem **Stand der Technik** erfolgen (§§ 57, 58 **WHG**). Daher erfolgt die Behandlung galvanischer Abwässer heute überwiegend in **Chargenanlagen**, die grundsätzlich mehr Sicherheit bieten, da das behandelte Abwasser erst abgeleitet wird, wenn nachgewiesen ist, dass die Behandlung erfolgreich war und die geforderten Ablaufwerte eingehalten sind. Chargenanlagen können zudem wesentlich flexibler auf wechselnde Abwasserqualitäten eingestellt werden.

Das nachfolgend dargestellte Verfahrensfließbild zeigt den Aufbau einer Abwasserreinigung nach dem Stand der Technik.

Grafik: Verfahrensschritte der Abwasserbehandlung (Idealfall)

Quelle: Bosse, K., Deutscher Beitrag zu den bestverfügbaren Techniken „Oberflächentechnik“, Umweltbundesamt, 2005; gestrichelte Linien repräsentieren optionale Behandlungswege

Die früher durchaus üblichen **Durchlaufanlagen entsprechen für Galvanikbetriebe nicht mehr dem Stand der Technik**. Sie werden ausnahmsweise bei Betrieben verwendet, bei denen, obwohl nach dem Stand der Technik mit Wasser gespart wird, große Abwassermengen (> 20 m³/8h) behandelt werden müssen. Dies ist bei Galvanikbetrieben nicht der Fall.

Vorgehensweise zur Behandlung in Chargenanlagen

Chargenanlagen sind in der Regel dreistufig konzipiert:

- **Vorbehandlung**: Abwässer mit gefährlichen Inhaltsstoffen, wie **Chromat, Cyanid und gegebenenfalls Nitrit** sind zunächst getrennt zu führen (verschiedene Vorlagebehälter), zu sammeln und vorzubehandeln. **Chrom(VI)-Ionen müssen dabei zu Chrom(III)-Ionen reduziert** sowie **Cyanide und Nitrite durch Oxidation zerstört** werden. Die getrennte Behandlung (Teilstrombehandlung) ermöglicht eine gezielte Entgiftung bei reduziertem Chemikalienverbrauch.
- **Hauptbehandlung**: Ist diese Vorbehandlung abgeschlossen, so können die Abwässer zur weiteren Behandlung zusammengeführt und vermischt werden. Die Hauptbehandlung besteht hauptsächlich in der **Fällung der Metallionen** mit anschließender **Sedimentation und Filtration.** Die Filtration erfolgt üblicherweise in Kammerfilterpressen.
- **Nachreinigung**: Das so gereinigte Abwasser wird meist noch über eine Nachreinigungsstufe geführt, bestehend aus **Kiesfiltern** (zur Entfernung feiner Festkörperanteile) und erforderlichenfalls Selektivionentauschern zur Entfernung bestimmter Metallionen.

Rechtliche Grundlagen für galvanotechnische Anlagen

Im Folgenden sind wesentliche abwasserrechtliche Vorgaben für galvanotechnische Betriebe dargestellt. Weitere Informationen finden Sie im Bereich Recht > Gewässerschutz.

Genehmigung von Einleitungen in die Kanalisation

Für die **Einleitung von Abwasser in die öffentliche Kanalisation** kann gemäß § 58 **WHG** eine **Genehmigung** erforderlich sein. Dies trifft zu, wenn das Abwasser aus einem durch die **AbwV** genannten **Herkunftsbereich** stammt und für diesen Herkunftsbereich Anforderungen an das Abwasser vor Vermischung oder für den Ort des Anfalls festgelegt sind. **Galvaniken sind als Betriebe der Metallbe- und -verarbeitung in der AbwV aufgeführt (Anhang 40)**, weshalb ein Genehmigungserfordrnis für die Einleitung von Abwasser in die Kanalisation bestehen kann. Näheres zu der Genehmigungspflicht kann auf der Seite Rechtsgrundlagen > Gewässerschutz > Aufbau und Struktur > Genehmigung nachgelesen werden.

Der Anhang 40 der AbwV beinhaltet Anforderungen im Falle genehmigungspflichtiger Einleitungen. Die Anforderungen werden von der Genehmigungsbehörde in den Genehmigungsbescheid aufgenommen und dadurch für den Betrieb verbindlich. Der Anhang spezifiziert neben **allgemeinen Anforderungen** konkrete Vorgaben an die Abwasserqualität. In tabellarischen Aufstellungen werden für die **zu erwartenden Schadstoffe Grenzwerte angegeben** und zwar sowohl für **Indirekteinleiter** als auch für **Direkteinleiter**. Galvanotechnische Betriebe sind vor allem Indirekteinleiter.

Das Gebot des Vermeidens und Verringerns gilt für Abfälle und Abwässer gleichermaßen. Vor Überlegungen bezüglich irgendwelcher Abwasserbehandlungsmaßnahmen sollten Sie daher unbedingt die Möglichkeiten sowohl der Mengen- als auch der Schadstoffreduzierung auf ihre Realisierbarkeit überprüfen.

Schadstoffbelastete Abwässer stammen im Wesentlichen aus zwei Quellen:

1. aus **verworfenen Prozessbädern**, die die gewünschte Wirkung nicht mehr aufweisen
2. aus **Spülbädern**, die vorwiegend durch verschleppte Prozessmedien belastet sind.

Generell ist die Schadstofffracht in den Abwässern so gering wie möglich zu halten. Vorrangig sollten Sie daher Maßnahmen ergreifen um:

- die **Standzeiten Ihrer Prozessbäder** mit standzeitverlängernden Maßnahmen zu optimieren, z. B. bei Beiz- und Dekapierbädern (siehe Metall > Galvanik > Einsatzstoffe > Beizen) und den **Elektrolyten** (siehe Metall > Galvanik > Einsatzstoffe > Elektrolyt),

- die **Verschleppungen von Prozessbädern** (und damit auch die Austragsverluste) so weit wie möglich zu reduzieren. Entsprechende Maßnahmen finden Sie im Bereich Metall > Galvanik > Einsatzstoffe > Ausschleppung,
- eine weitgehende **Rückführung nicht vermeidbarer Austragsverluste** zu gewährleisten, z. B. durch **Kaskadenschaltungen** bei Spülprozessen.

Mit diesen prozessintegrierten Maßnahmen kann sowohl die Abwassermenge als auch der Behandlungsaufwand reduziert werden. Allgemeine Anforderungen zu abwasser- und schadstoffreduzierenden Maßnahmen sind auch im Teil B des Anhangs 40 formuliert.

Kommunale Abwassersatzung

In der jeweiligen **kommunalen Abwassersatzung** werden für die Einleitung industrieller Abwässer in die Kanalisation (Indirekteinleitung) ergänzende Anforderungen definiert. **Diese können von Kommune zu Kommune variieren** und richten sich nach den Reinigungsstufen der örtlichen Kläranlage sowie den zu erwartenden Abwasserteilströmen. Neben konkreten Grenzwerten für Schadstoffe werden meistens Obergrenzen für Parameter wie z. B. pH-Wert, Temperatur oder absetzbare Stoffe vorgegeben.

Tabelle: Typische Auswahl von Grenzwerten kommunaler Abwassersatzungen

Abwasserparameter	Grenzwert *
Temperatur	35°C
pH-Wert	6,5 bis 10,0
absetzbare Stoffe	10 ml/l
Kohlenwasserstoffe	20 mg/l
Stickstoff aus Ammonium u. Ammoniak	100 mg/l
Sulfat	600 mg/l
Lösemittel (mit Wasser ganz oder teilweise mischbar und biologisch abbaubar), z. B. Ethanol	2 g/l

Die kommunale Abwassersatzung betrifft jeden Produktionsbetrieb unmittelbar. Sie sollte daher in jedem Betrieb vorliegen und kann beim Bürgermeisteramt, Umweltamt oder Landratsamt angefordert werden.

Eigenkontrollverordnung

Betriebe, die industrielles Abwasser (oder häusliches Abwasser > 8 m³/d) einleiten, müssen die **Einhaltung der rechtlichen Einleitbedingungen in eigener Verantwortung kontrollieren**. Die jeweils dafür erforderlichen Maßnahmen (Prüfungen, Untersuchungen, Messungen und Auswertungen) sowie die hierzu erforderlichen Kontrolleinrichtungen und Geräte sind in den Anhängen der Eigenkontrollverordnung (**EKVO**) des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg festgelegt. **Für Industriebetriebe gilt der Anhang 2**. Die gemessenen Werte sind zu dokumentieren und der **Wasserbehörde** auf Verlangen vorzuzeigen.

Hinweise:

Die Eigenkontrollverordnung fordert auch eine Zustandskontroll- und Überprüfungspflicht der betrieblichen Abwasserkanäle und -leitungen auf Dichtigkeit und Schadensfreiheit. Bei Industriebetrieben liegen die Wiederholungsfristen für nicht einsehbare Abwasserkanäle vor dem Endkontrollschacht bei 5 Jahren und nach dem Endkontrollschacht bei 10 Jahren.

Die Erstprüfungen hatten in der Regel bis Ende 1999 zu erfolgen, die ersten Wiederholungsprüfungen folglich bis Ende 2005. Die Wasserbehörde kann von den Bestimmungen der Verordnung im Einzelfall Ausnahmen für Betriebe zulassen , die nach der Öko-**Audit**-Verordnung eingetragen sind. Bei diesen Betrieben geht man davon aus, dass eine vergleichbare Eigenkontrolle gewährleistet ist.

Seit der zum 1. März 2010 in Kraft getretenen Neufassung des Wasserhaushaltsgesetzes sind Regelungen des Bundes zur Selbstüberwachung bei Abwassereinleitungen und Abwasseranlagen möglich. Eine entsprechende Verordnung der Bundesregierung liegt noch nicht vor. Bis zum Inkrafttreten einer Bundesregelung gilt das Landesrecht weiter.

* Die Werte können von Kommune zu Kommune variieren. Quelle: ABAG-itm, Pforzheim

Vorbehandlung: Entgiftung von Galvanikabwässern

Wesentliches Ziel der ersten Stufe der Abwasserbehandlung ist die Entfernung bzw. Umwandlung **gefährlicher Inhaltsstoffe** aus dem jeweiligen Prozesswasser. Dies betrifft insbesondere die

- Zerstörung von **Cyaniden und Nitriten** durch Oxidationsverfahren
- Umwandlung von **Chromaten zu Chrom (III)**

Abwasserteilströme, die o. g. gefährlichen Stoffe nicht enthalten, können direkt der Metallfällung (Hauptstufe) zugeführt werden.

Verfahren zur Cyanidoxidation

Cyanide sind giftig und haben ein hohes **Gefährdungspotenzial**.

Nach Möglichkeit sollte in erster Priorität geprüft werden, ob cyanidhaltige Chemikalien nicht durch eine **Verfahrensänderung** substituiert werden können oder ob sich zumindest die Mengen durch **Kreislaufführung, z. B. durch Eindampfen** der cyanidhaltigen Spülwässer und Rückführung der Wirkstoffe reduzieren lassen. Bei kleinen Konzentratmengen ist eine Entsorgung kostengünstiger als eine zusätzliche Abwasserbehandlungsstufe.

Sind im Abwasser jedoch Cyanide enthalten, müssen sie zuverlässig durch Oxidation entfernt werden. Hierzu stehen die folgenden Verfahren zur Verfügung:

- Cyanidoxidation mit **Wasserstoffperoxid und UV-Strahlung**
- Cyanidoxidation mit **Natriumhypochlorit**
- **Anodische Oxidation** cyanidischer Spülwässer

Die Cyanidentgiftung mittels Wasserstoffperoxid in Kombination mit UV-Strahlung ist das deutlich umweltfreundlichere Behandlungsverfahren. Gegenüber der klassischen Behandlung mit Natriumhypochlorit wird die **Salzfracht im Abwasser deutlich reduziert** und es tritt **eine deutlich verringerte AOX-Bildung** auf. Das Verfahren ist jedoch technisch anspruchsvoller und verlangt eine gute Abstimmung auf die im Abwasser enthaltenen Schadstoffe. Die Abwassergrenzwerte (0,2 mg/l gemäß **Anhang 40**) werden sicher eingehalten. Schwer oxidierbare cyanidhaltige Feststoffe können den Cyanidgehalt im Schlamm erhöhen. Prüfen Sie daher die Umsetzbarkeit des Verfahrens zusammen mit Ihrem Anlagenhersteller **und** Ihrem Entsorger. Insbesondere kupferhaltige cyanidische Spülwässer sollten per anodischer Oxidation zwecks Zerstörung der Cyanide bei gleichzeitiger Metallrückgewinnung behandelt werden. Mit wirtschaftlich vertretbarem Energiebedarf (Strom) kann der Cyanidgehalt auf < 0,1 mg/l reduziert werden. Durch die Metallrückgewinnung wird gleichzeitig das Abfallaufkommen (Schlamm) reduziert.

Bild: Behälter zur Entgiftung cyanidischer Abwässer

Quelle: VMBG-Info Sicherheit + Gesundheit, Nr. 3/05 Schwerpunkt Galvanotechnik

Verfahren zur Nitritreduzierung

Nitrit kann entweder zu Nitrat oxidiert oder zu Stickstoff reduziert werden. Beide Verfahren werden im schwachsauren Bereich (um pH 4) durchgeführt.

- **Nitritoxidation** mit Wasserstoffperoxid (H_2O_2)
- **Nitritreduktion**, z. B. mit Amidosulfonsäure oder Hydrogensulfit

Beide Verfahrensvarianten weisen verfahrensspezifische Vor- bzw. Nachteile auf. Bei der Oxidation mittels Wasserstoffperoxid muss mit der Bildung giftiger **nitroser Gase** gerechnet werden. Hier ist eine Absaugung erforderlich. Der Einsatz von Chlorbleichlauge als Oxidationsmittel ist wegen der AOX-Bildung nicht mehr gängig.

Meist wir zur Nitritreduktion Amidosulfonsäure eingesetzt. Dabei steigt allerdings der Sulfatgehalt im Abwasser. Alternativ kann die Behandlung auch mit Hydrogensulfit (Bisulfit) erfolgen. Dies ist besonders dann **vorteilhaft, wenn im Abwasser neben Nitrit auch Chromate vorliegen,** die dann gemeinsam entgiftet werden können. Auch hier muss mit **steigenden Sulfatgehalten** im Abwasser gerechnet werden.

Verfahren zur Chromatreduktion

Ist im Abwasser sechswertiges Chrom enthalten, muss es zuverlässig zu Chrom (III) umgewandelt werden. Auch hier sollte in erster Priorität geprüft werden, **ob durch einen Verfahrenswechsel auf Chrom (VI)-freie Verfahren umgestellt werden kann**. Zur Chromatentgiftung stehen folgende Verfahren zur Verfügung:

- Chromatreduktion mit **Natriumdithionit**
- Chromatreduktion mit **Natriumbisulfit**

Bei der **Chromatreduktion mit Natriumdithionit** lassen sich die Einleitgrenzwerte (0,1 mg/l gemäß Anhang 40) zuverlässig einhalten. Durch den Einsatz des Natriumdithionits in fester Form entfällt die Bereitstellung eines Lagertanks. Weiterhin gibt es keine Probleme mit Schwefeldioxid-Emissionen. Die Chemikalienkosten sind jedoch höher.

Wird **Natriumbisulfit** als Reduktionsmittel eingesetzt, so entstehen, neben der zusätzlichen Schwefelproblematik, **deutlich höhere Schlammmengen**.

Haupt- und Nachbehandlung: Fällung und Entfernung von Metallionen

Nach der Entgiftung, die entsprechend der gefährlichen Inhaltsstoffe als Teilstrombehandlung erfolgen sollte, können die resultierenden Abwässer zur **Hauptbehandlung** in der Regel zusammengeführt werden. Teilströme mit Komplexbildnern sollten möglichst separat behandelt oder ggf. auch extern entsorgt werden, da sie die Metallfällung bei der gemeinsamen Abwasserbehandlung erschweren. Wesentliche Verfahrensschritte sind die

- **Neutralisationsfällung**: Fällung von Metallionen (Hydroxidfällung, Sulfidfällung)
- **Entfernung der Fällungsprodukte** durch Sedimentation und Filtration

Bei einer im Einzelfall erforderlichen Nachreinigung werden

- ungelöste Schadstoffe ausfiltriert (z. B. **Kiesbettfilter**)
- verbliebene Metallionen entfernt (über **Selektiv-Ionenaustauscher**).

Hydroxidfällung

Bei der Fällung mit Lauge(n) fallen die Schwermetalle meist feindispers (insbesondere Blei und Zinn) als Hydroxide, basische Salze oder Phosphate an.

Das gängigste Reaktionsmittel ist Natronlauge (NaOH). Zur Erweiterung des Fällungs-pH-Bereichs wird z. B. Calciumhydroxid ($CaOH_2$) oder Soda eingesetzt. Zur besseren Filtrierbarkeit (Kammerfilterpresse) wird erforderlichenfalls noch ein Flockungshilfsmittel (Eisen(III)-chlorid, Kalkmilch) zugesetzt. Dies erhöht jedoch die Schlammmenge.

Um den **Einsatz zusätzlicher Chemikalien einzuschränken** können zur Neutralisation saurer Abwässer auch anfallende alkalische Abwässer oder besser Halbkonzentrate eingesetzt werden. Dabei ist darauf zuachten, dass diese frei von Komplexbildnern sein müssen.

Sulfidfällung

Die **Fällung mit Sulfiden** (z. B. Natriumsulfid, Organosulfid) wird vorwiegend dann eingesetzt, wenn es bei einer Hydroxidfällung zu Grenzwertüberschreitungen (z. B. durch Komplexbildner) kommt, und diese auch in der Nachreinigung (Kiesbettfilter , Selektiv-Ionenaustauscher) nicht wirkungsvoll reduziert werden können. Dies ist insbesondere beim Vorliegen von komplex gebundenen Metallionen der Fall. Der Prozess verlangt im Vergleich zur Hydroxidfällung jedoch deutlich engere Grenzen und in der Regel muss der Sulfidüberschuss mit Eisen(III)-chlorid oder Wasserstoffperoxid gebunden werden. Bei der Zugabe von Eisen(III)-chlorid erhöht sich wieder die Schlammmenge. Unter ungünstigen Umständen (Bedienungsfehler) kann bei der Sulfidfällung **hochgiftiger Schwefelwasserstoff** entstehen. Die Behandlungsanlage muss daher über eine Absaugung und einen Abgaswäscher verfügen.

Die Hydroxidfällung ist daher nach Möglichkeit vorzuziehen.

Nach Möglichkeit sind Komplexbildner in der gemeinsamen Abwasserbehandlung zu vermeiden, da sie die Metallfällung deutlich erschweren und zu höheren Behandlungskosten und meist auch höherem Schlammaufkommen führen. Gegebenenfalls sollte der betroffene Teilstrom separat behandelt werden. Bei kleinen Mengen eignen sich dafür auch moderne Eindampfverfahren (Vakuumverdampfer mit Brüdenverdichtung). Typische **Komplexbildner in Galvanikabwässern sind:** Cyanide, Polyphosphate, Amine, Zitronensäure, Weinsäure, Glukonsäure, Ammoniak, Nitrilotriessigsäure (NTA), Ethylendiamintetraessigsäure (**EDTA**), Quadrol.

Die Fällungsprodukte (Flocken) müssen im nachfolgenden Schritt aus dem Abwasser filtriert werden. Hierzu werden in der Regel **Kammerfilterpressen** eingesetzt. Der Filterkuchen ist ein **Galvanikschlamm**, der die gefällten Metalle in Hydroxid- oder Sulfidform enthält. Hier erhalten Sie Hinweise zu Verwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten von Galvanikschlämmen.

Bild: Kammerfilterpresse für Galvanikabwässer

Quelle: VMBG-Info Sicherheit + Gesundheit, Nr. 3/05 Schwerpunkt Galvanotechnik

Nachreinigung

Um die Überwachungswerte des **Anhang 40** zuverlässig einhalten zu können, ist nach der Fällung und Schlammabtrennung in der Regel eine **Feinfiltration** erforderlich. Hierzu eignen sich **Kiesbettfilter**, die auch sehr feine Feststoffpartikel zurückhalten können. Zur Regenerierung werden diese zurückgespült, so dass außer dem Schmutzwasser (Rückführung in die Abwasseranlage) kein weiterer Abfall anfällt. Reicht auch ein nachgeschalteter Feinfilter nicht zur Einhaltung der Grenzwerte aus (z.B. wenn noch Schwermetallionen im Abwasser enthalten sind) so muss eine weitere Nachbehandlung, meist über einen **Selektiv-Ionenaustauscher** erfolgen. Dieser muss für die zu entfernenden Metallionen ausgerüstet sein. Es sollten auf jeden Fall Mehrwegharze eingesetzt werden. Die Regenerierung von Ionenaustauschern kann innerbetrieblich (nur sinnvoll bei größeren Mengen) oder in zentralen Regenerierbetrieben erfolgen.

Galvanikschlämme

Bei der gemeinsamen Fällung mit Natronlauge und/oder Kalkmilch fallen die im Galvanikprozess verwendeten Metalle als **Hydroxide bzw. Oxidhydrate** aus. Wie beschrieben werden bei der Fällung aber auch **Sulfide und Carbonate** eingesetzt, die zu entsprechenden Fällprodukten führen. Der so entstehende gemischte Dünnschlamm mit einem Wassergehalt von meist über 95 % wird mittels Filterpressen auf Feststoffgehalte von 20 bis 40 % entwässert und fällt in dieser Form als Galvanikschlamm zur **Entsorgung** an. **Galvanikschlämme können aufgrund des Metallgehalts in vielen Fällen verwertet werden.**

Das betriebliche **Mengenaufkommen** an Galvanikschlamm hängt von der Beschaffenheit der angelieferten Waren genauso ab, wie von prozessbedingten Faktoren beim Galvanisieren. **Durch gute Prozessführung sowie die Abstimmung mit den Warenlieferanten kann sowohl das mengenmäßige Aufkommen als auch die Qualität der anfallenden Galvanikschlämme beeinflusst werden.** Die wesentlichen Faktoren sind:

- der Eintrag von **Verunreinigungen** (z. B. Kühlschmierstoffe oder Korrosionsschutzöle),
- der Abtrag von **Metalloxiden** von der Bauteiloberfläche (Korrosionsgrad),
- **Ausschleppung** von Prozesslösung über die Werkstücke und Vorrichtungen,
- Umwandlung von **Metallschichten**, z. B. beim Chromatieren

- **Lebensdauer** der Prozesslösungen
- Art der **Abwasserbehandlung** (Teilstrombehandlung, Art der Fällung/Flockung)

Ohne interne Recyclingmaßnahmen wäre das Aufkommen an Galvanikschlamm direkt proportional den Ausschleppverlusten und den Standzeiten der Prozessbäder.

Die wesentlichen **Ansatzpunkte zur Vermeidung und Reduzierung** wie

- Verminderung der Einträge und der **Ausschleppungen** aus Prozessbädern,
- Verlängerung der **Lebensdauer** von Prozesslösungen durch geeignete Regenerationsmaßnahmen und
- **Rückführung** ausgeschleppter Prozesslösungen insbesondere aus den nachgeschalteten Spülbädern

werden in den, den jeweiligen Einsatzstoffen (siehe Metall > Galvanik > Einsatzstoffe) zugeordneten Kapiteln behandelt.

Erhöhung der Trockensubstanz

Selbst bei gut filtrierbaren bzw. abpressbaren Galvanikschlämmen bewegen sich die Wassergehalte meist im Bereich von 60 bis 80%. Da sich die Entsorgungskosten vorwiegend am Abfallgewicht orientieren ist eine **Reduzierung des Wasseranteils durchaus von finanziellem Interesse**. Am Markt werden hierzu **verschiedene Trocknungsverfahren** angeboten. Der erforderliche Energieeinsatz und die Investitionen sind dabei verfahrensspezifisch sehr unterschiedlich und sollten im Vorfeld genau eruiert werden.

Trocknungsverfahren, die vorhandene Abwärme nutzen, können auch im Hinblick auf eine Verwertung (bei der das enthaltene Wasser verdampft werden muss) durchaus ökologisch und ökonomisch sinnvoll sein. Die Trocknung von Galvanikschlämmen, die anschließend deponiert werden sollen, unter einen Wassergehalt von ca. 50 % macht dagegen ökologisch keinen Sinn.

Entsorgungs- und Verwertungsmöglichkeiten von Galvanikschlämmen

Der zum Teil hohe Metallgehalt (10 bis 30%) in Galvanikschlämmen erlaubt in vielen Fällen eine **stoffliche Verwertung**. Dabei kann es für die Verwertung vorteilhaft sein, wenn die Abwasserteilströme in der Abwasserbehandlungsanlage getrennt zugeführt und behandelt werden, so dass eine Vermischung mit für den Verwertungsprozess schädlichen Stoffen oder auch Metallen vermieden wird.

Hinweis:

In jedem Fall ist sowohl für die Abklärung von Verwertungsmöglichkeiten als auch für sonstige Entsorgungswege eine **vorherige Abfallanalyse erforderlich**. Die zu analysierenden Parameter können aber sehr unterschiedlich sein. Sprechen Sie daher vorher mit dem in Frage kommenden Entsorger bzw. Verwerter(n) und klären Sie die zu bestimmenden Parameter. **So vermeiden Sie zusätzliche Kosten durch doppelte Analysen**.

Zuordnung von Galvanikschlämmen zu Abfallschlüsseln nach der Abfallverzeichnis Verordnung AVV.

Seit der Ablösung des Abfallartenkatalogs nach LAGA durch den Europäischen Abfallartenkatalog (EWC) sind für Galvanikschlämme nur noch zwei Abfallschlüssel (AS) vorgesehen:

- 11 01 09* Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten
- 11 01 10 Schlämme und Filterkuchen mit Ausnahme derjenigen, die unter 11 01 09 fallen

In der Regel enthalten Galvanikschlämme gefährliche Stoffe, wie z. B Schwermetalle und sind daher gefährliche Abfälle. Sie werden daher in der Regel dem AS 11 01 09* zugeordnet. Weitere Informationen zur Zuordnung von Abfällen erhalten Sie im Bereich Recht > Abfälle > Grundlagen > Einstufung.

Um sich Verwertungsmöglichkeiten nicht zu verbauen, sollten **Galvanikschlämme mit unterschiedlichen Metallinhalten getrennt erfasst** und gelagert werden.

Verwertungsmöglichkeiten

Je nach Prozess können die Wertmetallgehalte (insbesondere Cu, Ni, Zn) bis zu 30 % betragen, insbesondere bei Monoschlämmen. Der größte Anteil der Galvanikschlämme sind Mischschlämme mit Wertgehalten um 10 %. Welcher Mindestmetallgehalt für eine Verwertung erforderlich ist, hängt vom Verfahren und letztendlich auch von der Entwicklung der Metallpreise ab. Eine Sonderrolle spielen edelmetallhaltige Schlämme, die auch bei Metallgehalten von unter einem Prozent wieder aufgearbeitet werden.

Hinweis:

Ausnahmslos alle Verwerterbetriebe nehmen Galvanikschlämme erst nach ausführlichen Analysen, die in eigenen oder unabhängigen Labors durchgeführt werden, zur Verwertung an. Voraussetzung für die Annahme ist in den meisten Fällen auch die Zusage, über einen längeren Zeitraum Schlämme mit gleich bleibender Zusammensetzung anzuliefern.

In Galvanikschlämmen liegen die Metalle in gebundener Form, in der Regel als Hydroxide oder Sulfide vor. Ein direktes Einschmelzen ist daher nicht möglich. Im jeweiligen metallurgische Verfahren werden die Verbindungen aufgespalten, dass eine metallische Phase entsteht oder eine kommerziell nutzbare Metallverbindung erzeugt wird.

In der Praxis werden hierzu zwei Grundverfahren eingesetzt:

- Metallrückgewinnung über **pyrometallurgische Verfahren**: In Abhängigkeit vom zurückzugewinnenden Metall und von der Wertmetallkonzentration kommen eine Vielzahl unterschiedlicher Ofentypen zur Anwendung, z. B. Hochofen, Herdofen, Schachtofen, Drehrohr. Die Verfahren sind in der Regel nicht speziell auf die Verwertung von Galvanikschlämmen zugeschnitten, da diese im Vergleich zu den anderen Einsatzstoffen mengenmäßig keine große Rolle spielen. In der Regel werden die Galvanikschlämme daher zusammen mit den anderen Einsatzstoffen vor der Einbringung in den Ofen konditioniert, z. B. durch Trocknung, Brikettierung, Sintern.
- Metallrückgewinnung über **hydrometallurgische Verfahren**: Hierbei werden die Metalle mittels wässriger oder organischer Lösemittel von den Begleitstoffen getrennt, aufkonzentriert und als reine Metalle oder als monometallhaltige Chemikalien zurückgewonnen. In der Hydrometallurgie kommen verschiedenste verfahren, teilweise auch in Kombination zum Einsatz, z. B. Laugung, Fällung, Elektrolyse, Elektrodialyse, Kristallisation Solventextraktion usw. **Über diese Verfahren lassen sich neben Galvanikschlämmen auch Konzentrate (z.B. verworfene Aktivbäder), Halbkonzentrate und Spülwässer aufarbeiten**.

Bei Mischschlämmen richten sich die Verwertungsmöglichkeiten für Galvanikschlämme in erster Linie nach der Hauptkomponente der enthaltenen Metalle. Sind im Schlamm Edelmetalle enthalten, so ist natürlich der Wert der enthaltenen Edelmetallfraktion ausschlaggebend. In **Deutschland gibt es ca. 10 Verwerterbetriebe**, die zur stofflichen Verwertung von Galvanikschlämmen zugelassen sind. Die Schwerpunkte liegen bei der **Verwertung von kupfer-, nickel- und zinkhaltigen Schlämmen**. Auf die Aufarbeitung von **edelmetallhaltigen Schlämmen** haben sich bundesweit weitere ca. 10 Verwerterbetriebe spezialisiert.

Ein aktuelles (Stand 2004) Verzeichnis von Verwertern für Abfälle (nicht nur Schlämme) aus galvanotechnischen Betrieben finden Sie im Anhang des Leitfadens Nr.6 Leitfaden zur Abfallverwertung des Projekts „Verringerung von Stoffverlusten bei der chemischen und

elektrochemischen Oberflächenbehandlung“, den Sie von der Homepage der DGO als pdf-Datei herunterladen können.

Beseitigungsmöglichkeiten

Die in den Bereichen Produktionsverfahren sowie Einsatzstoffe beschriebenen Maßnahmen zur Vermeidung von Ausschleppungen sowie zur Rückführung ausgetragener Prozesslösungen führen zu einer deutlichen Reduzierung der NE-Metallgehalte im Abwasser und damit auch im Galvanikschlamm. Dabei kann der Metallgehalt so gering werden, dass eine Verwertung zur Metallrückgewinnung weder ökologisch noch ökonomisch sinnvoll ist.

Ist eine stoffliche Verwertung nicht möglich, so müssen die anfallenden Galvanikschlämme beseitigt werden. Dies wird in der Regel die **Ablagerung auf einer Sonderabfalldeponie (SAD)** sein. Sind im Galvanikschlamm keine gefährlichen Stoffe enthalten (z. B. Schwermetalle, Cyanide, Chromate usw.) so ist ggf. auch eine Ablagerung auf einer **Hausmülldeponie** (HMD) möglich. Wertmetallarme Galvanikschlämme sind unter Umständen nach entsprechender Konditionierung auch für den Bergversatz geeignet.

Glossar

2. BImSchV

Zweite Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetze (Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen halogenierten organischen Verbindungen - 2. BImSchV).

31. BImSchV

Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen (31. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz - 31. BImSchV).

4. BImSchV

Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes - 4. BImSchV -).

A-Ofen, A-Schleuse, Sparschleuse

Technische Öfen und Trockner, wie sie z. B. in Lackierereien verwendet werden, müssen mit Waren beschickt werden. Die Art der Warenbeschickung dieser Öfen, entweder horizonal (von vorn) oder vertikal (von unten), entscheidet mit über den Energieverbrauch. Wird die Ware von unten eingebracht und nach unten entnommen schricht man von A-Öfen oder A-Schleusen. Mit dieser Bauart läßt sich der Energieverbrauch gegenüber der horizontalen Beschickung deutlich reduzieren, da warme Luft nach oben steigt. Sie bleibt also im Ofen, wenn von unten beschickt wird. Zur Minderung des Energieverlustes bei horizontaler Beschickuung werden Schleusen in Form von Toren oder Schiebern angebracht, die sich für den Warenein- und -ausgang öffnen und schließen.

ABC-Analyse

Die ABC-Analyse ist ein betriebswirtschaftliches Analyseverfahren. Sie teilt eine Menge von Objekten in die Klassen A, B und C auf, die nach absteigender Bedeutung geordnet sind. Eine typische ABC-Analyse gibt beispielsweise an, welche Produkte am stärksten am Umsatz eines Unternehmens beteiligt sind (A) und welche am wenigsten (C) (Quelle : Wikipedia). Im Fall der Energie- und Materialeffizienz bedeutet dies, dass zuerst die Möglichkeiten mit dem höchsten Einsparpotenzial und dem geringeten Aufwand angegangen werden.

Abwassersatzung

In den Abwassersatzungen legen die Kommunen z. B. die Abwassergebühren und die Verpflichtungen zum Anschluss an das öffentliche Abwassersystem fest.

AbwV

Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung - AbwV).

Additiver Umweltschutz

Unter additivem Umweltschutz werden Maßnahmen verstanden, die negative Umweltauswirkungen durch nachgeschaltete Maßnahmen vermeiden. Dies sind z. B.
- Abwasserreinigungsanlagen
- Emissionsminderungsmaßnahmen (Filter, thermische Nachverbrennung)

Additive Maßnahmen verursachen in der Regel zusätzliche Kosten und können zu einer Verlagerung von Umweltbelastungen in andere Medien führen.

Aerosol

Als Aerosole bezeichnet man in Gasen (oder auch der Luft) enthaltene feste oder flüssige Teilchen. Diese Stoffe bleiben in feinstverteilter Form als Schwebstoffe in dem Gas erhalten (z.B. feinste Öltröpfchen in der Luft, Spraynebel).

AltfahrzeugV

Verordnung über die Überlassung, Rücknahme und umweltverträgliche Entsorgung von Altfahrzeugen (Altfahrzeug-Verordnung - AltfahrzeugV).

AltölV

Altölverordnung - AltölV.

Anhang 40

Anhang 40 der Abwasserverordnung betrifft u.a. Galvaniken, den Bereich Metallbearbeitung und Lackieren.

Anodische Oxidation

Ein Verfahren zur Verstärkung der schützenden Oxidschicht von Aluminium. Das Verfahren wird auch Eloxieren oder Eloxal-Verfahren genannt. Das zu behandelnde Teil wird in eine elektrisch leitende Flüssigkeit (Elektrolyt) gebracht und dort als Anode an eine Gleichspannungsquelle angeschlossen. Im so aufgebauten Spannungsfeld wandern sauerstoffhaltige Anionen zur Aluminiumoberfläche. Bei der dortigen Reaktion mit dem Werkstoff bildet sich Aluminiumoxid. An der Kathode bildet sich Wasserstoff.

AOX

Der AOX (Adsorbierbare Organisch gebundene Halogene) ist ein Summenparameter der chemischen Analytik, der vornehmlich zur Beurteilung von Wasser und Klärschlamm eingesetzt wird. Es dürfen keine Reinigungsmittel verwendet werden, die AOX im Abwasser erzeugen.

Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)

Der "Arbeitsplatzgrenzwert" ist der Grenzwert für die zeitlich gewichtete durchschnittliche Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz in Bezug auf einen gegebenen Referenzzeitraum. Er gibt an, bei welcher Konzentration eines Stoffes akute oder chronische schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit im Allgemeinen nicht zu erwarten sind. Dieser Begriff ersetzt die bisherige maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert).

ArbMedVV

Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge - ArbMedVV.

ArbSchG

Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG).

ArbStättV

Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung - ArbStättV).

AVV

Verordnung über das europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnisverordnung - AVV).

Berufsgenossenschaft

Die deutschen Berufsgenossenschaften sind die für die gesetzliche Unfallversicherung zuständigen Sozialversicherungsträger. Sie versichern Berufstätige gegen die Risiken Arbeitsunfall und Berufskrankheit. Man unterscheidet zwischen den so genannten gewerblichen Berufsgenossenschaften und den landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften.

Betriebsanweisungen

Die Betriebsanweisung ist eine Anweisung des Arbeitgebers an die Beschäftigten. Sie regelt arbeitsplatz- und tätigkeitsbezogen das Verhalten im Betrieb mit dem Ziel, Unfall- und Gesundheitsgefahren zu vermeiden. Darüber hinaus dient sie als Grundlage für Unterweisungen. Man unterscheidet Betriebsanweisungen, die den Umgang mit Gefahrstoffen regeln, und sicherheitstechnische Betriebsanweisungen für den Umgang mit Maschinen und Anlagen. Geregelt werden nur die Tätigkeiten, die gefährlich bzw. sicherheitsrelevant sind. Die Betriebsanweisung enthält hierzu die erforderlichen Angaben der Gebrauchsanleitung bzw. -anweisung (bei technischen Erzeugnissen) oder der Sicherheitsdatenblätter (bei Gefahrstoffen) des Herstellers, Einführers oder Lieferanten.

BetrSichV

Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (Betriebssicherheitsverordnung - BetrSichV).

Beurteilungspegel

Lärmpegel, bei dessen Überschreitung Lärmschutzmaßnahmen durchgeführt werden müssen. Der Beurteilungspegel liegt gemäß der Arbeitsstättenverordung bei Büroarbeitsplätzen bei 70 dB und bei Werkstattarbeitsplätzen bei 80 dB(A).

BG - Datenbank

Hier können alle berufsgenossenschaftlichen Vorschriften aus einer Datenbank abgerufen werden. Geben Sie in die Suchfelder die Art der Vorschrift (z. B. BGR, BGI) und die Nummer ein. Alternativ kann über Stichworte die gesamte Datenbank nach einschlägigen Veröffentlichungen durchsucht werden.

BImSchG

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG.

BiostoffV

Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen (Biostoffverordnung - BioStoffV).

biozid

Biozide Wirkstoffe dienen dazu, den Schutz von Produkten aus Holz oder anderem organischen Material zu verbessern. Sie dienen dazu, bestimmte pflanzliche oder tierische Organismen in ihrem Wachstum zu hemmen oder zu zerstören.

Brennbare Flüssigkeiten

Das von brennbaren Flüssigkeiten ausgehende Gefahrenpotenzial wird über den Flammpunkt festgelegt. Im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung sind Maßnahmen gegen Brand- und Explosionsgefahr festzulegen.

Die Lagerung von brennbaren Flüssigkeiten ist in der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS 510) "Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern" festgelegt.

Einstufung nach Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) für brennbare Flüssigkeiten:

Flammpunkt (°C)	Siedebeginn	Gefährlichkeitsmerkmal	Kennzeichnung
< 0	**< 35 °C**	**hochentzündlich**	**F+**
< 21		leicht entzündliche	**F**
> 21 =< 55		entzündlich	**R10**

Quelle: BG ETEM(BG-Infoblatt, Lagerung brennbarer Flüssigkeiten, 07/2012)

Einstufung entzündbarer Flüssigkeiten nach CLP-Verordnung:

Flammpunkt (°C)	Siedebeginn	Gefährlichkeitsmerkmal
< 23	**=< 35 °C**	**extrem entzündbar**
< 23	> 35 °C	leicht entzündbar
=> 23 =< 60		entzündbar

Quelle: BG ETEM(BG-Infoblatt, Lagerung brennbarer Flüssigkeiten, 07/2012)

Chlorparaffine

Chlorierte Paraffine wurden früher gerne als wirksames EP-Additiv verwendet. Aufgrund der umweltschädlichen Eigenschaften (potenzielle Bildung von Hydrogenchlorid sowie bei thermischen Prozessen von Dioxinen) sollte generell auf deren Einsatz verzichtet werden. Chlorgehalte > 0,2% im Altöl erfordern eine teure Sonderabfallverbrennung (vgl. AltölVO).

CKW

Ein Chlorkohlenwasserstoff (CKW) ist ein chemischer Stoff, dessen Grundgerüst einem Kohlenwasserstoff gleicht und bei dem mindestens eines der Wasserstoffatome durch ein Chloratom ersetzt ist. CKW werden als Grundstoffe in der chemischen Industrie, als Lösungsmittel, sowie auch als Pestizide eingesetzt. Vertreter sind Tri(chlorethylen), Per(chlorethylen), Methylchlorid, Trichlormethan (Trivialname Chloroform) und Lindan. Die FCKW (Fluorchlorkohlenwasserstoffe) sind den CKW chemisch nahe verwandt. Die Verwendung der leichtflüchtigen CKW (z.B. Tri und Per) ist durch die 2. BImSchV stark eingeschränkt worden. Einschränkungen für FCKW gehen auch aus deutschen Chemikalien-Ozonschichtverordnung und der europäischen Verordnung (EG) Nr. 1005/2009 über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen, hervor, die u.a. den Einsatz bestimmter FCKW als Kältemittel regeln.

CPB

in externen CPBs werden schadstoffhaltige Abwässer behandelt und entsorgt. CPBs bestehen verfahrenstechnisch für öl- und metallhaltige Abwässer zumindest aus einer Ölabscheidungs- und einer Fällungs/Flockungsstufe.

CVD- und PVD-Verfahren

Chemische Beschichtung aus der Gasphase (chemical vapour deposition) und PVD-Verfahren (physical vapour deposition), z. B. Sputterverfahren. Beide Beschichtungsverfahren bringen eine fest haftende Schicht auf ein Werkstück oder Trägermaterial auf.

Diffusionsdialyse

Bei der Diffusionsdialyse werden Anionenaustauschermembranen eingesetzt, die Säureanionen und die dazugehörigen Wasserstoffionen leicht passieren lassen, die Metallionen jedoch zurückhalten. Beaufschlagt man eine solche Membran auf der einen Seite mit verbrauchter Beize und auf der anderen mit vollentsalztem Wasser, so führt das entstehende Konzentrationsgefälle dazu, daß die freie Säure aus der Beizlösung in das Wasser diffundiert. (Metall-)Kationen und nichtionogene Stoffe werden zurückgehalten.

Direkteinleiter

Gewerbe- und Industriebetriebe, die ihre Abwässer über eigene Kanalisationen und Abwasserbehandlungsanlagen direkt in ein Gewässer einleiten.

EC-Elektromotore

EC-Elektromotore sind kollektorlose Gleichstrommotoren (EC = Electronically Commutated). Dieser ist als Außenläufermotor aufgebaut. Das heißt, bei dem Motor wird das Magnetfeld durch einen ringförmigen Permanentmagneten im Rotor erzeugt. Das Statorblechpaket mit den Spulen ist anders als beim herkömmlichen Kollektormotor fest mit dem Lagerdeckel des Motors verbunden und dreht sich nicht. Die Winkelstellung des Permanentmagneten im Rotor wird über drei Hall-Sensoren erfasst und von einer, im Motor integrierten, Elektronik ausgewertet. Anhand der Winkelstellung des Rotors und der gewünschten Drehrichtung werden von der Elektronik die entsprechenden Spulen bestromt um das erforderliche Drehmoment zu erzeugen. Der gesamte Vorgang erfolgt ohne Verschleiß und Funkenbildung. Da durch die Kommutierung kein Verschleiß auftritt, bleibt nur noch die Lagerung als Verschleißteil (Quelle: voutta-technik)

EDTA

EDTA (Ethylendiamintetraessigsäure) ist ein organischer Komplexbildner, der in einer Vielzahl von Prozessen eingesetzt wird (z. B. Metall- und Galvanotechnik, Foto- und Textilindustrie, Kosmetika, Wasch- und Reinigungsmitteln sowie in der Medizin). Mit Metallionen bildet es stabile Komplexe. Problematisch ist EDTA für Gewässer, da es giftige Schwermetallionen aus Sedimenten herauslösen und remobilisieren kann. Aufgrund seiner hohen Wasserlöslichkeit und schlechten biologischen Abbaubarkeit wird EDTA durch biologische Kläranlagen kaum aus dem Abwasserstrom entfernt.

Effizienzniveau von Elektromotoren

Elektromotoren weisen je nach Bauart und Qualität unterschiedliche elektrische Wirkungsgrade auf. Damit ist bei gleicher Leistung teilweise ein erheblicher Unterschied im Stromverbrauch verbunden, der sich direkt auf die Betriebskosten auswirkt. Mit der Ökodesign-Richtlinie (Richtlinie 2009/125/EG zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte) werden verbindliche Effizienzniveaus für Elektromotoren zwischen 0,75 und 375 kW festgelegt. Die Effizienzniveaus (IE) sind in 4 Klassen unterteilt, wobei IE 1 das "Standard-" und IE 4 das "Superpremium-Niveau" beschreibt. Die Anforderungen an die Niveaus sind in der Norm IEC 60034-30 (IEC = International Electrotechnical Commission) festgelegt. - Gebräuchlich ist auch die Festlegung des europäischen Herstellerverband CEMEP (European Commitee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics) zur Klassifizierung von Elektromotoren. Danach werden Drehstromasynchronmotoren im Leistungsbereich zwischen 1,1 und 90 kW eingeteilt (ausschließlich 2- und 4- polige Motoren) in drei sog. Effizienzklassen ("eff1 - eff3"). Zur Klassifizierung wurden drei Grenzkurven festgelegt, dabei ist eff 1 die Klasse mit dem höchsten Wirkungsgrad und eff3 diejenige mit dem schlechtesten.

EKVO

Verordnung des Umweltministeriums über die Eigenkontrolle von Abwasseranlagen (Eigenkontrollverordnung – EKVO). Seit der zum 1. März 2010 in Kraft getretenen Neufassung des Wasserhaushaltsgesetzes sind Regelungen des Bundes zur Selbstüberwachung bei Abwassereinleitungen und Abwasseranlagen möglich. Eine entsprechende Verordnung der Bundesregierung liegt noch nicht vor. Bis zum Inkrafttreten einer Bundesregelung gilt das Landesrecht weiter.

ElektroG

Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz - ElektroG).

Elektrolyse

Durch Elektrolyse lassen sich aus metallhaltigen Lösungen die Metalle in verwertbarer Form abscheiden. Sie wird beispielsweise eingesetzt, um Metallanreicherungen aus schwefelsauren Beizbädern zu entfernen.Eine spezielle Anwendung der Elektrolyse ist die selektive elektrolytische Reinigung von Prozeßbädern. Bei relativ kleinen Stromdichten und hohen Strömungsgeschwindigkeiten wird das Abscheidungsverhältnis zwischen elektrolytfremden und elektrolyteigenen Metallionen zugunsten der Fremdmetallionen verschoben. Dieser Effekt wird genutzt, um bestimmte Elektrolyte (z.B. Kupfer-, Silber- und vor allem Nickelelektrolyte) von fremden Schwermetallionen zu reinigen. Da bei der selektiven Reinigung mit löslichen Anoden aus dem Elektrolytmetall gearbeitet wird, ist keine Ergänzung der metallischen Inhaltsstoffe notwendig. An der Kathode werden neben den Metallen meist auch organische Elektrolytzusätze abgeschieden, die anschließend am Prozeßbad ergänzt werden müssen. Als Abfall fällt bei der selektiven Reinigung eine Legierung an, die hauptsächlich aus dem Metall des Elektrolyten mit geringen Fremdmetall- und Organikanteilen besteht und als Schrott verwertet werden kann.

Elektrolyt

Als Elektrolyten werden wässrige Lösungen (z.B. von Säuren, Basen und Salzen), Salzschmelzen oder manche Festkörper bezeichnet, die durch elektrolytische Dissoziation in Ionen elektrisch leitfähig sind.

EMAS

Verordnung (EG) Nr. 1221/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates über die freiwillige Teilnahme von Organisationen an einem Gemeinschaftssystem für Umweltmanagement und Umweltbetriebsprüfung (EMAS). EMAS bedeutet Eco-Management und Audit Scheme. Im deutschen Sprachgebrauch wird anstelle von EMAS oft der Begriff Öko- oder Umwelt-Audit benutzt. Die Begriffe sind gleichbedeutend. Die Verordnung (EG) Nr. 1221/2009 (EMAS III) ersetzte die außer Kraft getretene Verordnung (EG) Nr.761/2001 (EMAS II-Verordnung).

Emission

Als Emission wird die Abgabe von Substanzen, Schall, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlung, Gerüchen oder ähnlichen Erscheinungen an die Umwelt bezeichnet, die im Sinne des Umweltschutzes in der Regel schädlicher Art ist und meist menschlichen Ursprunges ist.

Emulsionsspaltung

KSS- und Reiniger-Emulsionen bestehen in der Regel zu über 90 % aus Wasser. Zur Abtrennung der stabil über ein Emulgatorsystem in die Wasserphase eingebundenen Öltröpfchen muss die Emulsion gespalten werden. Für die betriebliche Anwendung geeignete Spaltverfahren sind die Ultrafiltration, die Spaltung mit organischen Substanzen und die Vakuumverdampfung. Mit der Emulsionsspaltung kann eine einleitfähige Wasserphase abgetrennt und somit die Abfallmenge um bis zu 90 % reduziert werden.

Endenergie

Die beim Endverbraucher ankommende Energie bezeichnet man als Endenergie. Es ist derjenige Teil der Primärenergie, welcher dem Verbraucher, nach Abzug von Transport- und Umwandlungs-verlusten, zur Verfügung steht, z.B. Heizöl im Öltank, Gas oder Strom aus dem Hausanschluss, o.ä.

Entsorgung

Unter Entsorgung von Abfällen wird sowohl die Beseitigung als auch die Verwertung von Abfällen verstanden.

Entsorgungnachweis

Auf der Grundlage der Nachweisverordnung sind durch Erzeuger oder Besitzer, Einsammler, Beförderer und Abfallentsorger verpflichtet, Nachweise über die Entsorgung zu führen.

Europäisches Umweltzeichen

Mit der 1992 ins Leben gerufenen "EU-Blume" werden umweltschonende Produkte und Dienstleistungen ausgezeichnet, die sich bei der Lebenszyklus-Analyse mit überdurchschnittlich wenig Umweltauswirkungen auszeichnen. Mit dem EU-Ecolabel ausgezeichnete Produkte und Unternehmen können Sie recherchieren unter eco-label.german.

EVPG

Gesetz über die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz - EVPG).

Flammpunkt

Der Flammpunkt ist die niedrigste Temperatur, bei der sich aus einer Flüssigkeit Dämpfe in solchen Mengen entwickeln, dass sich mit der Luft ein durch Fremdzündung entflammbares Gemisch ergibt.

Flussmittel

Flussmittel werden beim Feuerverzinken und Löten verwendet. Sie stellen eine gute Benetzbarkeit der Metalloberfläche durch das Lot bzw. das Zink sicher.

Fluxbad

Fluxbad ist der Fachbegriff für Flussmittelbäder. Um eine optimale Benetzung der Stahlteile zu gewährleisten werden sie mit Flussmitteln behandelt. Es handelt sich hier i. d. R. um Ammonium- und Zinkchlorid. Bei der Feuerverzinkung verdampfen die Flussmittel und müssen als staubförmige Emissionen über Filteranlagen abgeschieden werden.

Gefahrstoffe

Werk-, Betriebs- oder Hilfsstoffe, die ein besonderes Gefahrenpotenzial aufweisen. Gefahrstoffe sind gefährliche Stoffe und Zubereitungen, die bestimmte Eigenschaften wie beispielsweise giftig, ätzend oder reizend haben. Zu erkennen sind sie am Gefahrensymbol: oranges Feld mit schwarzem Piktogramm, z.B. Flamme für entzündlich, Totenschädel für giftig etc. Die Gefahrensymbole mit Beispielen sind im Bereich Recht > Gefahrstoffe und Gefahrgut > Gefahrstoffe > Umgang > Kennzeichnung aufgeführt. Die Kriterien für die Zuordnung gefährlicher Eigenschaften legt die Gefahrstoffverordnung in Verbindung mit der EU-Richtlinie 67/548 fest. **Seit dem 1. Dezember 2010** gelten für **Stoffe** geänderte Einstufungs- und Kennzeichnungsvorschriften. Für **Gemische** sind die neuen Regelungen **ab dem 1. Juni 2015** anzuwenden. Die altbekannten Symbole und Begriffe werden nahezu komplett ersetzt. Die neuen Vorgaben werden durch die neue europäische Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (auch GHS-Verordnung genannt) festgelegt.

GefStoffV

Verordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Gefahrstoffverordnung - GefStoffV).

Gefährdungsbeurteilung

Gemäß § 5 ArbSchG muss der Arbeitgeber beurteilen, welche Gefährdungen für die Beschäftigten in seinem Betrieb mit ihrer Arbeit verbunden sind. Durch die Gefährdungsbeurteilung sollen also Ursachen für Arbeitsunfälle und arbeitsbedingte Gesundheitsbeeinträchtigungen erkannt und hinsichtlich Art und Umfang eines möglichen Schadens bewertet werden. Vorgaben für Gefährdungsbeurteilungen enthalten u.a. auch die Betriebssicherheitsverordnung, die Arbeitsstättenverordnung, die Gefahrstoffverordnung, die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung und die Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung.

Gefährdungspotential

Das Gefährdungspotential ist das Maß für den möglichen Eintritt einer Gefahr. Das Gefährdungspotential von Anlagen wird abgeleitet aus einer Betrachtung von Schadstoffarten und -mengen (Emissionspotential), der Ausbreitungsmöglichkeiten (Transmissionspotential) und der Einschätzung der Auswirkungen auf Mensch und Umwelt (Immissionspotential). Dabei wird die Möglichkeit der technikbezogenen Störung mit einbezogen. Das Gefährdungspotential von Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen wird beispielweise vom Volumen und der Wassergefährdungsklasse der in der Anlage vorhandenen wassergefährdenden Stoffe sowie der hydrogeologischen Beschaffenheit und Schutzbedürftigkeit des Aufstellungsortes bestimmt.

Gefährliche Stoffe

Gefährliche Stoffe werden durch die Richtlinie 67/548/EWG für die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe festgelegt. Seit dem 1. Dezember 2010 gelten für Stoffe geänderte Einstufungs- und Kennzeichnungsvorschriften. Für Gemische sind die neuen Regelungen ab dem 1. Juni 2015 anzuwenden. Die altbekannten Symbole und Begriffe werden nahezu komplett ersetzt. Die neuen Vorgaben werden durch die neue europäische Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (auch GHS-Verordnung genannt) festgelegt.

Gefährliche und nicht gefährliche Abfälle

Abfälle werden in gefährliche und nicht gefährliche Abfälle eingeteilt. Die als gefährlich einzustufenden Abfälle werden in der Abfallverzeichnisverordnung festgelegt und sind dort mit einem Stern gekennzeichnet. Ein Abfall gilt als gefährlich, wenn er eines oder mehrere Gefahrenmerkmale aufweist (z.B. Flammpunkt kleiner 55 °C oder Konzentration sehr giftiger Stoffe größer/gleich 0,1 %). Die frühere Differenzierung in besonders überwachungsbedürftige, überwachungsbedürftige und nicht überwachungsbedürftige Abfälle ist 2007 entfallen. Detaillierte Informationen über Sonderabfälle, gefährliche Abfälle und besonders überwachungsbedürftige Abfälle liefert beispielsweise das Umweltbundesamt.

GHS-Verordnung

Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen. Der Text der Verordnung wurde geändert. Bitte beachten Sie deshalb auch die Rubrik "Geändert durch" der verlinkten Seite.

Haltezeit

Unter Haltezeit versteht man in der Lackiertechnik die Zeit, während der Ofen auf der zur Lackschichthärtung erforderlichen Einbrenntemperatur gehalten wird.

HKWAbfV

Verordnung über die Entsorgung gebrauchter halogenierter Lösemittel - HKWAbfV.

HVLP-Technik

High Volume Low Pressure Spritztechnik. Mit dieser druckluftreduzierten Spritztechnik lässt sich der Anteil fehlverspritzten Lackes verringern.

Indirekteinleiter

Abwassereinleiter, vor allem Industriebetriebe, die ihr Abwasser nicht direkt, sondern über öffentliche Kanalisationen und Kläranlagen in die Gewässer einleiten.

Ionenaustausch

Der Ionenaustausch dient der selektiven Entfernung störender Ionen (bei der Badpflege sind dies hauptsächlich Metall-Kationen) aus wäßrigen Lösungen. Bei Dekapier- und Beizprozessen wird das Oberflächenmaterial der Bauteile angelöst und geht als Kation in Lösung. Der gleiche Vorgang findet in verschiedenen Elektrolyten (z.B. Chromelektrolyten) und Chromatierungslösungen statt. Die Entfernungen dieser Kationen durch Ionenaustausch erfordert keine Nachfolgemaßnahmen an den Prozeßlösungen. Bei der Regenerierung der Austauscher fallen Eluate an, die entsprechend weiterbehandelt werden müssen.

Ionenaustauscher

Natürliche oder künstliche Substanzen (Kunstharze), deren Ionen gegen andere ausgetauscht werden können. Bei der Enthärtung des Wassers werden z.B. die Calcium- und Magnesiumanteile gegen NatriumIonen ausgetauscht. Zur Reinigung von gering belasteten Abwässern gibt es die unterschiedlichsten Harze, die je nach Art der Belastung eingesetzt werden. Die verbrauchten Harze können z.T. vom Lieferanten aufbereitet werden [Quelle: BVDM Umweltlexikon].

Kaskadenschaltung

Bei einer Kaskadenschaltung werden mehrere Bäder so hintereinander geschaltet, dass der Medienstrom (Prozess- oder Spülflüssigkeit) entgegen dem Materialstrom stattfindet. Die Kaskadenschaltung wird hauptsächlich bei Spülprozessen angewendet um bei stark reduziertem Spülwasserverbrauch hohe Spülkriterien realisieren zu können. Je mehr Bäder hintereinander geschaltet werden, um so geringer wird der Spülwasserverbrauch. In vielen Bereichen, z. B. bei Galvaniken ist die Spültechnik mit Kaskadenschaltung inzwischen Stand der Technik und wird bei Neuanlagen auch behördlich gefordert.

KMU

Als KMU gelten gemäß der EU-Definition kleine und mittlere Unternehmen mit max. 250 Mitarbeiter und max. 50 Mio. € Jahresumsatz oder max. 43 Mio. € Jahresbilanz (auch: Anteil eines Nicht-KMU am Unternehmen max. 25 %).

Korrosionsschutzmittel

Korrosionsschutzmittel, sind Stoffe die das korrodieren (z. B. rosten) von Materialien verhindern. In der Metallbearbeitung werden häufig Sprühöle als Schutz verwandt. Diese Öle müssen vor der Weiterverarbeitung meist abgereinigt werden, wodurch zusätzliche Abfälle und Abwässer entstehen.

KrWG

Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG).

KSS-Additive

Um bei KSS bestimmte oder bessere Eigenschaften zu erzielen werden den Grundölen weitere Chemikalien zugemischt, d. h. sie werden additiviert. Insgesamt werden ca. 300 Additive eingesetzt, je nach KSS-Typ und Anforderungen besteht ein KSS aus 5 bis 30 Einzelkomponenten. Wichtige Additive sind z. B. Emulgatoren (zur Herstellung von Emulsionen), EP-(extreme pressure) oder Hochdruckzusätze (z.B. Fettsäuren, Fettsäureester, Alkohole), Antioxidantien (zur Vermeidung von Oxidationsprozessen) sowie Biozide zur Eindämmung der Verkeimungsgefahr, insbesondere bei wassergemischten KSS.

Kühlkristallisation

Die Kühlkristallisation wird eingesetzt, um Salze aus Elektrolyten und Beizlösungen zu entfernen. Diese Salze bilden sich beispielsweise durch die Metallanreicherung in Beizen oder durch die Reaktion von Elektrolytbestandteilen in alkalischen und alkalisch-cyanidischen Elektrolyten mit dem Kohlendioxid aus der Luft zu störendem Natriumcarbonat (Soda). Voraussetzung für die Kühlkristallisation ist, daß die Löslichkeit des entsprechenden Salzes mit sinkender Temperatur stark abnimmt und daß die anderen Elektrolytbestandteile bei der Kühltemperatur in Lösung bleiben. Da sich im Prozeßbad nur ein Salzbestandteil anreichert (Metall-Kation in der Beize, Carbonat-Anion in den alkalischen Elektrolyten), muß der jeweilige Partner nach der Kühlkristallisation ergänzt werden. Als Abfall verbleiben Salze, die entweder wiederverwertet (cyanidhaltige Soda in cyanidhaltigen Entfettungsbädern, Eisensalze als Fällungsmittel in der Abwasserbehandlung), extern entsorgt oder der Abwasserbehandlungsanlage zugeführt werden.

Kühlschmierstoffe

Kühlschmierstoffe (KSS) werden als Hilfsstoffe bei spanabhebenden Verfahren, beim Scheifen und teilweise auch beim Umformen eingesetzt. Als wesentliche Funktionen führen KSS die beim Fertigungsprozess entstehende Wärme ab, gleichzeitig mindern sie die Reibung zwischen Werkzeug und Werkstück und wirken so als Schmierstoff. Zusätzlich entfernen sie die anfallenden Späne durch Abspülen aus der Bearbeitungszone. Ein weiterer Nebeneffekt der Kühlschmierstoffe ist der Korrosionsschutz des Werkstücks. Bei den Kühlschmierstoffen unterscheidet man zwischen nichtwassermischbaren KSS (Öle) und wassermischbaren KSS (Emulsionen und Lösungen).

Lebenszyklus

Im Rahmen der Lebenszyklusbetrachtung eines Produkts werden sämtliche Umweltauswirkungen, von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung, den Gebrauch, bis hin zur Entsorgung untersucht. Damit erhält man eine ganzheitliche Sicht auf die unterschiedlichen Umweltbelastungen eines Produktes.

Leistungspreis (Industrie und Gewerbe)

Der Leistungspreis wird für alle Industrie- und Gewerbebetriebe erhoben. Der Leistungspreis ist der Grundpreis für den Stromanschluss. Die Höhe des Leistungspreises richtet sich nach der maximalen elektrischen Leistung, die vom Unternehmen bezogen wird. Werden bei einem Unternehmen z. B. morgens alle Maschinen und Geräte gleichzeitig eingeschaltet, ergibt sich kurzzeitig eine Leistungs-spitze, die einen hohen Leistungspreis nach sich zieht. Werden die Maschinen dagegen zeitlich versetzt in Betrieb genommen, lassen sich diese Spitze und damit auch der Leistungspreis deutlich senken. Der Stromverbrauch wird separat als Arbeitspreis berechnet.

Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung

Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (ärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung - LärmVibrationsArbSchV).

MAK-Wert

Die MAK-Werte sind mit der GefStoffV vom 23. Dezember 2004 durch die Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) ersetzt worden. Solange die Technischen Regeln und die Sicherheitsdatenblätter noch nicht aktualisiert wurden, können die MAK-Werte als Richtwert für den AGW herangezogen werden. Der MAK-Wert (maximale Arbeitsplatzkonzentration) ist die höchstzulässige Konzentration eines Arbeitsstoffs (Schadstoffs) in der Luft im Bereich des Arbeitsplatzes. Die MAK-Werte sind in den Sicherheitsdatenblättern der jeweiligen Einsatzstoffe festgehalten. Nach dem gegenwärtigen Stand der Kenntnis wird bei dieser Konzentration auch bei wiederholter und langfristiger (in der Regel täglicher 8-stündiger) Exposition bei 40-stündiger Wochenarbeitszeit, im allgemeinen die Gesundheit der Beschäftigten nicht beeinträchtigt und diese nicht unangemessen belästigt.

Membranelektrolyse

Die Membranelektrolyse ist ein elektrolytisches Verfahren, bei dem der Kathodenraum durch eine Membran abgetrennt wird. Dieses Verfahren wird z . B. bei der Behandlung chloridhaltiger Lösungen eingesetzt, um die Bildung von Chlorgasen zu vermeiden

Membranverfahren

Membranverfahren werden zur Trennung von Flüssigkeiten und Feinstoffen oder gelösten Ionen sowie zur Trennung von Öl/Wasseremulsionen eingesetzt. Die Membran wirkt bei diesen Trenverfahren wie ein feines Sieb.

Man unterscheidet nach der Porengröße der Membran:

- Mikrofiltration
- Ultrafitration
- Umkehrosmose

Minimalmengen-Schmierung

Als Minimalmengen-Schmierung (MMS) wird die Technologie zum Auftragen minimaler Mengen von Schmierstoffen mittels geeigneter Sprühtechnik direkt auf die Wirkstelle Werkzeug/Werkstück bezeichnet. Bei exakter Dosierung der Schmierstoffe werden in Form einer Verlustschmierung im Vergleich zur konventionellen Kühlschmierung (Nassbearbeitung) erheblich geringere Ölmengen benötigt (ca. 5 bis max. 50 ml/h pro Auftragsstelle). Bei Auftragsmengen von über 50 ml/h redet man von der Mindermengenschmierung. Durch das Aufbringen eines wirksamen Schmierfilms reduziert sich die Reibungs- und Umformwärme. Der Kühlung kommt dabei nur eine untergeordnete Bedeutung zu.

Nachhaltigkeit

Ursprünglich stammt der Begriff Nachhaltigkeit aus der Forstwirtschaft, wonach einem Wald nur soviel Holz entnommen werden soll, wie in der gleichen Zeit nachwächst. Nur so kann sichergestellt werden, dass der Wald über Generationen erhalten und nutzbar bleibt. Eine umfassende Erweiterung erfuhr der Begriff Nachhaltigkeit im so genannten Brundtland-Bericht aus dem Jahr 1987, der nachhaltige Entwicklung folgendermaßen definiert: „Entwicklung zukunftsfähig zu machen, heißt, dass die gegenwärtige Generation ihre Bedürfnisse befriedigt, ohne die Fähigkeit der zukünftigen Generation zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse befriedigen zu können." Damit wird sowohl der dauerhafte Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen als auch die gerechte Verteilung der Ressourcen innerhalb der gegenwärtig lebenden Menschen zur politischen Aufgabe gemacht.

Nassabscheidung

Nassabscheidung von Lackoverspray. Lacknebel aus der Spritzlackierung muss abgetrennt werden. Bei der Nassabscheidung wird der Lackoverspray an einer wasserberieselten Fläche abgeschieden, an das Umlaufwasser gebunden und der Lackschlammabscheidung zugeführt.

nHKW

Nicht halogenierte Kohlenwasserstoffe sind organische Lösemittel, wie z. B. Benzine, Aceton, Alkohole, Aromaten. Sie werden in fast allen Branchen zu Reinigungszwecken, in der chemischen Industrie für Extraktionsaufgaben eingesetzt. Sie unterliegen den Vorgaben der Lösemittelverordnung.

Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe (nwm KSS)

Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe (auch KSS-Öle) bestehen aus Grundölen (Mineralöle, synthetische oder native Öle) sowie eigenschaftsverbessernden Additiven und werden ohne Zumischung von Wasser direkt im Bearbeitungsprozess eingesetzt.

Nitrosamine

Nitrosamine sind als krebserregend eingestuft. Beim gleichzeitigen Vorhandensein von Nitrit und sekundären Aminen können sich bei saurem pH-Wert Nitrosamine bilden. In wassermischbaren KSS sind sekundäre Amine daher verboten. Der Nitrit-Gehalt ist auf einen Maximalwert von 20 mg/l begrenzt (vgl. TRGS 611).

Nutzenergie

Die Nutzenergie ist diejenige Energie, die dem Endnutzer für seine Bedürfnisse zur Verfügung steht. Sie entsteht durch Umwandlung der Endenergie. Mögliche Formen der Nutzenergie sind Wärme zur Raumheizung, Kälte zur Raumkühlung, Licht zur Arbeitsplatzbeleuchtung, mechanische Arbeit oder Schallwellen. - Die Nutzenergie ist in den meisten Fällen kleiner als die Endenergie, da bei der Energieumwandlung Verluste auftreten. Beispielsweise erzeugt eine Glühlampe nicht nur Licht, sondern strahlt den größten Teil der eingesetzten Energie in Form von Wärme ab.

Overspray

Als Overspray bezeichnet man bei Spritz- und Sprühapplikationen den Anteil des verspritzten Mediums, der nicht auf das Werkstück und somit in die Umgebung gelangt. Dies betrifft Lackiertechniken ebenso wie z. B. das Aufsprühen eines Schmierfilms. Overspray wird durch Vorbeispritzen am Werkstück sowie durch seitlich abströmende, feine Lacktröpfchen vor der Werkstückoberfläche verursacht. Die Overspray-Verluste hängen somit sowohl von der Werkstückgeometrie als auch von der verwendeten Sprühtechnologie und deren Handhabung ab. Durch unterstützende Techniken (z. B. elektrostatische Verfahren) und weiterentwickelte Spritztechniken (z.B. HVLP-Technik) kann der Oversprayanteil erheblich reduziert werden.

PAK

Das Kürzel PAK steht für die Stoffgruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoff-verbindungen, die mehrere hundert Verbindungen umfasst. Diese organischen Verbindungen entstehen bei der (unvollständigen) Verbrennung von organischen Materialen und sind inzwischen über ihren Lufttransport auf der ganzen Welt zu finden. Viele PAK's sind nachweislich krebserzeugend (karzinogen).

pH-Wert

Maß dafür, wie sauer oder basisch eine Flüssigkeit reagiert.

Primärenergie

Als Primärenergie bezeichnet man in der Energiewirtschaft die Energie, die mit den natürlich vorkommenden Energieformen oder Energiequellen zur Verfügung steht, etwa als Kohle, Gas oder Wind. Im Gegensatz dazu spricht man von Sekundärenergie oder Energieträgern, wenn diese erst durch einen mit Verlusten behafteten Umwandlungsprozess aus der Primärenergie gewandelt werden. Die nach eventuellen weiteren Umwandlungs- oder Übertragungsverlusten vom Verbraucher nutzbare Energiemenge bezeichnet man schließlich als Endenergie.

Produktionsintegrierter Umweltschutz

Unter produktionsintegriertem Umweltschutz werden Maßnahmen verstanden, die negative Umweltauswirkungen direkt an der Quelle verhindern. Dies sind z. B.
- Substitution gefährlicher Stoffe durch ungefährliche
- Verminderung oder Vermeidung von gefährlichen Einsatzstoffen
- Reduktion des Material- und Energieverbrauchs durch effizientere Produktionsverfahren oder durch organisatorische Maßnahmen

R-Sätze/H-Sätze

Risikosätze beschreiben die Umwelt- und Gesundheitsgefahren durch chemische Stoffe. R-Sätze sind im Anhang III der EU-Richtlinie 67/548/EWG festgelegt. Seit dem 1. Dezember 2010 gelten für Stoffe geänderte Einstufungs- und Kennzeichnungsvorschriften. Für Gemische sind die neuen Regelungen ab dem 1. Juni 2015 anzuwenden. Die altbekannten Symbole und Begriffe werden nahezu komplett ersetzt. Von den Änderungen betroffen sind auch die R-Sätze, die durch H-Sätze ersetzt werden (H steht für Hazard). Die neuen Vorgaben werden durch die europäische Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (auch GHS-Verordnung genannt) festgelegt.

REACH-Verordnung

Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH).

Ressourcenverbrauch

Der steigende Ressourcenverbrauch ist eines der drängensten globalen Probleme. Eine der wesentlichen Aufgaben, die die Menschheit aktuell zu lösen hat, ist es einen besseren und gerechteren Zugang zu den Ressourcen weltweit zu gewährleisten und einen sparsamen Umgang mit ihnen zu organisieren. Teilweise werden einzelne Ressourcen, wie z. B. Öl oder Uran, in naher Zukunft knapp oder sind nur noch mit deutlich höherem Aufwand zu gewinnen. Eine deutliche Verteuerung des Öls beispielsweise oder gar ein Versiegen des Ölstroms in die Industrieländer hätte weit reichende Folgen auf den dortigen Labensstandard. Aber auch die Entnahme und Veredelung von noch reichlich vorhandenen Ressourcen, wie z. B. Metallen oder Kohle, hat, vor allem emissionsseitig, globale negative Auswirkungen auf die Umwelt. Mit der Gewinnung von Rohstoffen sind tiefe Eingriffe in die Landschaft und den Wasserhaushalt verbunden, zur Veredelung und Raffinierung werden meist sehr energieintensive technische Verfahren eingesetzt, oft gelangen hier teilweise toxische Stoffe in die Umwelt, die zu weiteren Belastungen führen. Der Ressourcen-verbrauch und speziell die Entkopplung von Wirtschaftwachstum und Ressourcenverbrauch sind daher zentrale Anliegen wirtschafts- und umweltpolitischer Maßnahmen auf nationaler und internationaler Ebene. Zur Lösung der Probleme werden zwei Ansätze verfolgt: Zum einen der sparsame Umgang mit Rohstoffe durch effiziente Technologien und zum anderen die schrittweise Schließung von Kreisläufen durch Recycling.

Retardation

Bei der Retardation wird ein Anionenaustauscherharz im Aufstrom mit der verbrauchten Beize beaufschlagt. Die freie Säure diffundiert dabei größtenteils in das Harz während die Metalle das Harzbett weitgehend ungehindert passieren. Wird das Harzbett anschließend im Abstrom mit Wasser beaufschlagt, so wird die Säure wieder freigesetzt. Es entsteht eine Säurelösung mit geringem Metallgehalt, die wieder in das Prozeßbad zurückgeführt wird. Insbesondere bei Einsatz der Retardation an Schwefelsäurebeizen sollte zur Regeneration enthärtetes oder vollentsalztes Wasser verwendet werden, um die Bildung von Gips im Harzbett und im Prozeßbad zu vermeiden.

S-Sätze/P-Sätze

S-Sätze Sicherheitssätze beschreiben standardisiert die Sicherheitsmaßnahmen zum Schutz von Mensch und Umwelt beim Umgang mit gefährlichen Stoffen. Sie sind im Anhang IV der EU-Richtlinie 67/548/EWG festgelegt. Seit dem 1. Dezember 2010 gelten für Stoffe geänderte Einstufungs- und Kennzeichnungsvorschriften. Für Gemische sind die neuen Regelungen ab dem 1. Juni 2015 anzuwenden. Die altbekannten Symbole und Begriffe werden nahezu komplett ersetzt. Von den Änderungen betroffen sind auch die S-Sätze, die durch P-Sätze ersetzt werden (P steht für Precautionary). Die neuen Vorgaben werden durch die neue europäische Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (auch GHS-Verordnung genannt) festgelegt.

Sankey

Mit Sankey-Diagrammen lassen sich Stoff- und Energieströme visualisieren. Die Dicke der Verbindungslinien zwischen zwei Prozessen repräsentiert die Mengen oder den Energiefluss. Analog lassen sich Sankey-Diagramme auch auf "Geldströme" anwenden.

SAV

Sonderabfallverbrennungsanlagen sind Anlagen zur Beseitigung von gefährlichen Abfällen (Sonderabfällen) durch thermische Behandlung (Verbrennung). Die Anlagen sind so konzipiert, dass darin bei ca. 1.200 °C weitgehend alle gefährlichen Abfälle behandelt, d. h. die darin enthaltenen Schadstoffe sicher vernichtet werden. Die Auslegung ermöglicht, dass Abfälle unterschiedlichster Konsistenz (fest, flüssig oder pastös) sowie unterschiedlicher Stückigkeit (z. B. auch Gebinde) verbrannt werden können. Eine Sonderabfallverbrennungsanlage besteht im Wesentlichen aus einer Brennkammer (Drehrohr oder Rost), Nachbrennkammer, Abhitzekessel zur Wärmenutzung sowie einer umfassenden Abgasreinigungsanlage. Durch letztere wird sichergestellt, dass die Vorgaben zum Immissionsschutz eingehalten werden. Derzeit ist in Sonderabfallverbrennungsanlagen keine Verwertung zugelassen. In Deutschland werden aktuell ca. 30 Sonderabfallverbrennungsanlagen mit einer Verbrennungskapazität von ca. 1,5 Mio. Tonnen betrieben.

Sicherheitsdatenblätter

In den Sicherheitsdatenblättern für Gefahrstoffe befinden sich Hinweise zum Gefährdungspotenzial und zum sicheren Umgang mit den Stoffen. Aufbau und Inhalte sind seit dem 1. Juni 2007 durch die REACH-Verordnung (Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe) vorgegeben. Davor galten die Maßgaben der EG-Richtlinie 91/155/EWG.

Sonderabfälle

Der Begriff „Sonderabfall” wird im allgemeinen Sprachgebrauch zur Beschreibung verschiedener Abfallarten mit gefährlichen Eigenschaften genutzt, ohne dass eine klare rechtliche Definition existiert. Die als gefährlich einzustufenden Abfälle werden in der Abfallverzeichnisverordnung festgelegt und sind dort mit einem Stern gekennzeichnet. Ein Abfall gilt als gefährlich, wenn er eines oder mehrere Gefahrenmerkmale aufweist (z.B. Flammpunkt unter 55 °C oder Konzentration giftiger Stoffe größer oder gleich 0,1 %). Die frühere Differenzierung in besonders überwachungsbedürftige, überwachungsbedürftige und nicht überwachungsbedürftige Abfälle ist 2007 entfallen.

Stand der Technik

In einigen Umweltgesetzen (vgl. z.B. § 57 Wasserhaushaltsgesetz, § 5 Nr. 2 BImSchG) gebräuchliche Bezeichnung für den Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen, deren praktische Eignung als gesichert erscheint. Maßnahmen nach dem Stand der Technik sollen den besten zur Zeit realisierbaren Schutz der Umwelt vor Schädigungen garantieren. Der Stand der Technik ist auch für die Gewährleistung des Schutzes der Beschäftigen vor Gefährdungen maßgeblich. Hier ist das Technische Regelwerk z.B. in Form der Technischen Regeln für Gefahrstoffe zu beachten. Ein weitergehender Begriff ist "Stand von Wissenschaft und Technik" für Anlagen, die noch nicht im Betrieb erprobt sind. Im Zuge der technologischen Entwicklung werden Anlagen des Standes von Wissenschaft und Technik schrittweise zum Stand der Technik, so dass sich in Genehmigungsverfahren unterschiedliche Auffassungen zwischen Antragssteller und Behörde über die anzuwendende Technologie ergeben können.

TRbF

Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten - TRbf. Unter dieser Bezeichnung sind mehrere thematisch gegliederte Regeln zum Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten zusammengefasst (z. B. Lagerung, Einstufung usw.). Obwohl die Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (VbF) nach In-Kraft-treten der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) zurückgezogen worden ist, gelten die TRbF bis zu Ihrer Überarbeitung in der alten Form weiter.

TRBS 2153

Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen

TRGS

TRGS - Technische Regeln Gefahrstoffe. Unter dieser Bezeichnung sind mehrere themen- und stoffbezogene Vorschriften zum Umgang mit Gefahrstoffen zusammengefasst (Kühlschmierstoffe, Acetylen usw.).

TRGS 400

Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen

TRGS 500

Schutzmaßnahmen

TRGS 600

Substitution

TRGS 611

Verwendungsbeschränkungen für wassermischbare bzw. wassergemischte Kühlschmierstoffe, bei deren Einsatz N-Nitrosamine auftreten können

TRGS 900

TRGS 900 "Arbeitsplatzgrenzwerte" (früher "Luftgrenzwerte") Durch die TRGS 900 werden Arbeitsplatzgrenzwerte veröffentlicht. Ein AGW gibt an, bei welcher Konzentration eines Stoffes akute oder chronische schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit im Allgemeinen nicht zu erwarten sind. AGW sind Schichtmittelwerte bei in der Regel täglich achtstündiger Exposition an 5 Tagen pro Woche während der Lebensarbeitszeit.

TRK-Wert

TRK- Werte werden in der Gefahrstoffverordnung vom 23.12.2004 nicht mehr definiert. Sie wurden durch Arbeitsplatzgrenzwerte ersetzt.

Technische Richtkonzentrationen gaben die Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz an, die nach dem Stand der Technik erreicht werden konnte. TRK wurden nur für solche gefährlichen Stoffe benannt, für die keine toxikologisch-arbeitsmedizinisch begründeten maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK-Werte) aufgestellt werden konnten. Einzelheiten wurden durch die TRGS 102 geregelt, die durch Bekanntmachung vom 30.03.2006 außer Kraft gesetzt wurde.

TRLV Lärm - Teil 1

Beurteilung der Gefährdung durch Lärm

TRLV Lärm - Teil 2

Messung von Lärm

TRLV Lärm - Teil 3

Lärmschutzmaßnahmen

TRLV Lärm - Teil: Allgemeines

TRLV Lärm - Teil: Allgemeines

Trockenabscheidung

Trockenabscheidung von Lackoverspray. Lacknebel aus der Spritzlackierung muss abgetrennt werden. Bei der Trockenabscheidung wird der Lackoverspray über Prallbleche und Filtermatten aus dem Abluftstrom abgeschieden.

Trockenbearbeitung

Spanende Metallbearbeitung unter vollständigem Verzicht auf Kühlschnierstoffe. Im praktischen Sprachgebrauch wird häufig auch die Minimalmengenschmierung unter dem Oberbegriff der Trockenbearbeitung mit einbezogen.

Ultrafiltration

Die Ultrafiltration(UF) ist eine Querstromfiltration bei der bei erhöhtem Druck kleinere Moleküle und Teilchen eine Membran passieren können (Flotat), während die größeren Teilchen in der zu filtrierenden Flüssigkeit zurückgehalten werden (Retentat). Bei der Metallbearbeitung wird die UF einerseits zur Spaltung von KSS-Emulsionen und andererseits zur Pflege (Abtrennung von Verunreinigungen) von wässrigen Reinigungssystemen eingesetzt. Geeignete Membranen (Organische Membrane oder Keramik) sind anwendungsspezifisch auszuwählen. Die Ultrafiltration ist ein hilfsmittelfreies Filtrationssystem, benötigt aber für die Pumpen zum Erhalt des Filtrationsdrucks erhebliche Mengen an elektrischer Energie.

Umweltleistung

Die DIN EN ISO 14001 definiert Umweltleistung als das "messbare Ergebnis des Managements der Umweltaspekte in einer Organisation" und die EMAS-Verordnung als "Ergebnis des Managements der Organisation hinsichtlich ihrer Umweltaspekte". Zur Beschreibung und Verbesserung der Umweltleistung muss diese gemessen werden. Hierzu können z. B. Methoden der Material- und Energiebilanz Ökobilanzierung angewendet und deren Ergebnisse in Form von Kennzahlen dargestellt werden.

VAwS

Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe (Anlagenverordnung wassergefährdende Stoffe - VAwS). Die Festlegung von Anforderungen an Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen war bisher den Ländern vorbehalten. Dies führte dazu, dass jedes Bundesland eine eigene Anlagenverordnung (VAwS) hat. Seit der zum 1. März 2010 in Kraft getretenen Neufassung des Wasserhaushaltsgesetzes sind Vollregelungen des Bundes möglich. Eine Bundes-VAwS liegt im Entwurf vor. Mit der Verabschiedung, die zu veränderten Anforderungen führen kann, ist Mitte 2013 zu rechnen.

VbF

Die Verordnung über brennbare Flüssigkeiten wurde durch Vorschriften der BetrSichV ersetzt. Die Klassifizierung in AI, AII, AIII und B ist damit nicht mehr gültig, wird aber landläufig noch verwendet. Dabei bedeuten: AI - Flammpunkt unter 21 °C (jetzt: leichtentzündlich, bei FP unter 0 °C hochentzündlich); AII - Flammpunkt zwischen 21 und 55 °C (jetzt: entzündlich) und AIII - Flammpunkt zwischen 55 und 100 °C (jetzt nicht mehr geregelt). A-Flüssigkeiten sind nicht wasserlöslich, B sind wasserlöslich und haben einen Flammpunkt unter 21 °C (jetzt: leichtentzündlich, bei FP unter 0 °C hochentzündlich).

VE-Spüle

VE-Spülen werden mit vollentsalztem Wasser betreiben und als letzte Spülstufe eingesetzt, um zu vermeiden, dass sich nach dem Trocknen Kalkablagerungen auf den Werkstück absetzen.

Verkeimung

In wassergemischten KSS (Emulsionen, Lösungen) können sich Mikroorganismen durch gleichzeitiges Vorhandensein von Wasser und organischen Substanzen (Öle) unter Umständen sehr schnell vermehren. Die Folge ist ein Abbau der Emulgatoren mit sinkender Stabilität der Emulsion und verstärkte Korrosionserscheinungen. Eine starke Verkeimung ist zudem mit einer starken Geruchsbelästigung verbunden. Bei einer Keimanzahl von > 104 sollten Gegenmaßnahmen ergriffen und insbesondere die Ursache des Keimwachstums erkundet und beseitigt werden.

Verordnung (EG) Nr. 640/2009

Verordnung (EG) Nr. 640/2009 im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Elektromotoren.

Wassergefährdende Stoffe

Wassergefährdende Stoffe im Sinne des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) sind feste, flüssige und gasförmige Stoffe, insbesondere Säuren, Laugen, Mineralöle, flüssige sowie organische Verbindungen, Gifte, die geeignet sind, nachhaltig die physikalische, chemische oder biologische Beschaffenheit des Wassers nachteilig zu verändern. Die Zuordnung zu den Wassergefährdungsklassen 1, 2 und 3 erfolgt auf Grundlage der Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe (VwVwS) unter Berücksichtigung der R-Sätze des Stoffes. Die VwVwS enthält auch eine Liste, die Stoffen die jeweilige Wassergefährdungsklasse zuordnet. Künftig sollen Wassergefährdungsklassen durch die neue Bundes-VAwS festgelegt werden. Mit der neuen Vorschrift ist Mitte 2013 zu rechnen.

Wassergefährdungsklasse (WGK)

Die Wassergefährdungsklasse (WGK) gibt an, ob ein Stoff Wasser dauerhaft schädlich verändern kann. Schwach wassergefährdende Stoffe (Scheibenreiniger, Bremsflüssigkeit) haben die WGK 1, wassergefährdende Stoffe (Diesel, Kaltreiniger, Motoröl) die WGK 2 und stark wassergefährdende Stoffe (Benzin, verunreinigtes Altöl) die WGK 3. Welche WGK einem Stoff zugeordnet wurde, erfahren Sie aus dem zum Stoff gehörenden Sicherheitsdatenblatt. Die Zuordnung der Wassergefährdungsklassen 1, 2 und 3 erfolgt auf Grundlage der Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe (VwVwS) unter Berücksichtigung der R-Sätze des Stoffes. Die VwVwS beinhaltet auch eine Liste, die Stoffen die jeweilige Wassergefährdungsklasse zuordnet. Künftig sollen Wassergefährdungsklassen durch die neue Bundes-VAwS festgelegt werden. Mit der neuen Vorschrift ist Mitte 2013 zu rechnen.

Wassermischbare Kühlschmierstoffe (wm KSS)

Wassermischbare Kühlschmierstoffe müssen vor der Verwendung mit Wasser angemischt werden. Man unterscheidet zwischen Emulsionen (milchiges Aussehen, teilweise vom Hersteller angefärbt) und Lösungen (transparentes Aussehen, teilweise leicht angefärbt). Bei Emulsionen werden die eigentlichen Schmierstoffe (Öle und Additive) beim Anmischvorgang durch ein Emulgatorsystem als feine stabile Tröpfchen im Wasser verteilt (Öl in Wasser-Emulsion). Je nach Anwendung liegen die Einsatzkonzentrationen zwischen 3 und 17%. Bei Lösungen geht das Konzentrat (meist synthetische Kohlenwasserstoffe mit Additiven) vollständig in der Wasserphase in Lösung. Bevorzugt bei Schleifoperationen eingesetzt, liegt die Anwendungskonzentration zwischen 2 und 5%.

WHG

Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG)

Wärmepumpe

Die Wärmepumpe ist eine Maschine, die mit Hilfe technischer Arbeit, z. B. eines Elektromotors, Wärme von einem niedrigeren zu einem höheren Temperaturniveau "pumpt". Bei der Wärmepumpe wird die auf dem hohen Temperaturniveau anfallende Wärme z. B. zum Heizen genutzt (Wärmepumpenheizung). Wärmepumpen können durch mechanisch oder elektrisch betrieben Kompressoren oder durch Wärme angetrieben werden.

Zuständige Behörden Wasserrecht

Die unteren Wasserbehörden sind die Umweltämter der Stadt- und Landkreise. Sie sind grundsätzlich, mit Ausnahme bei größeren Anlagen und Direkteinleitern, für die wasserrechtlichen Erlaubnisse und Bewilligungen, die behördliche Überwachung und für die Beratung der Unternehmen zuständig. Die höhere Wasserbehörde ist das jeweilige Regierungspräsidium. Es ist sachlich zuständig für Entscheidungen, die Gewässerbenutzungen hoher Umweltrelevanz betreffen