

12.2.1.1.2.1 Der Einfluss von Kühlschmierstoffen (KSS)

Kuschmierstoffe (**KSS**) werden bei Zerspanungs- und Umformprozessen angewendet, um eine möglichst hohe Produktionsleistung bei günstigen Kosten und optimale Integrität der Bearbeitungsfläche zu gewährleisten. Im Folgenden liegt der Schwerpunkt auf **Kuschmierstoffen für die Zerspanung**. Für Umformprozesse gelten ähnliche Bedingungen, die jedoch in einigen Aspekten (z.B. Wärmeleitfähigkeit) abweichen.

Kuschmierstoffe lassen sich wie folgt einteilen (Lit 12.2.1.1-23, Lit 12.2.1.1-5):

- Mineralöihaltige mit mehr als 60% Mineralöl im Konzentrat,
- teilsynthetische mit 5-60% Mineralöl im Konzentrat,
- mineralölfreie, synthetische,
- Salzlösungen,
- Schleiföle.

Der Kuschmierstoff hat **auf den Zerspanungsprozess und sein Umfeld entscheidende Auswirkungen** (Bild 12.2.1.1.2-13 und Bild 12.2.1.1.2-14). Nachfolgend werden besonders die positiven Eigenschaften dargestellt. Werden diese nicht genutzt oder bestehen werkstofftypische Empfindlichkeiten, ist mit Problemen zu rechnen (Bild 12.2.1.1.2-14).

Schmierwirkung: Es gilt, die Mischreibung zwischen Werkzeug, Werkstück und Span zu minimieren. Damit wird der Schnittvorgang erleichtert und die Reibungsenergie bzw. die Aufheizung minimiert. Um einen niedrigen Reibbeiwert zu erzielen, werden den KSS-Konzentraten **Hochdruckzusätze** (EP-Zusätze) zulegiert. Diese reagieren unter Bedingungen der Mischreibung mit den metallischen Kontaktflächen. Hier wirken Einflüsse der frischen, hoch reaktiven, möglicherweise katalytisch wirkenden Oberflächen. Unterstützt werden deren chemische Reaktionen von hohen Temperaturen und der Scherbelastung der Flüssigkeit. So bilden sich **Reaktionsschichten mit Trockenschmierwirkung**. Gebräuchliche EP-Zusätze sind **organische Schwefel-, Chlor- und Phosphorverbindungen** (Lit 12.2.1.1-22 und Lit. 12.2.1.1-28). Aus ihnen können Metallsulfide, -chloride oder -phosphate entstehen. Die Reaktion erfolgt mit den Spänen, auf Grund des kleinen Volumens bei großer reaktiver Oberfläche besonders intensiv. So werden die EP-Zusätze aus dem KSS getragen und ihre Konzentration sinkt. Andererseits führt ein Verdampfen der KSS zum gegenteiligen Effekt.

Deshalb hat in geeigneten, von Zerspanungsprozess und Zerspanungsleistung abhängigen **Zeitabständen**, eine **Überprüfung der EP-Konzentration** zu erfolgen.

Weniger Reibung bedeutet für den Zerspanungsvorgang weniger Reibungskräfte und Reibungswärme mit mehrfachen Vorteilen:

- Geringere Aufheizung des Werkstücks und Werkzeugs.
- Weniger Werkzeugverschleiß bzw. längere Standzeiten bei gleichbleibender Maßhaltigkeit und Oberflächenqualität (Rauigkeit, Eigenspannungen, Verfestigung).
- Weniger Verformung durch Wärmedehnung und Schnittkräfte.
- Weniger Maschinenleistung.
- Weniger abzuführende Wärme.

Kühlung bzw. Abführung der Zerspanungswärme: Die Kühlwirkung des KSS hängt von seiner **Wärmekapazität**, dem **Wärmeleitvermögen** und der **Verdampfungswärme** ab. Die relativ niedrige Verdampfungstemperatur des Wassers bei ca. 100°C wirkt sich auf die Kühlung zusätzlich positiv aus. Wegen dieser Eigenschaften **kühlt Wasser am intensivsten**. Mineralöle, Mineralölmischungen mit Zusätzen und Emulgatoren liegen aus dieser Sicht deutlich ungünstiger. Einen Vorteil kann bei Ölen /Schleiföl eine bessere **Benetzung** bringen. Gewöhnlich gilt: kleine Oberflächenspannung = gute Benetzbarkeit = gute Kühlung (Lit. 12.2.1.1-23). Bei wässrigen Emulsionen wirkt also das Wasser am intensivsten. Sein Anteil sollte deshalb im KSS unter dem Aspekt der Kühlung möglichst hoch sein. Wenn es jedoch gelingt, die Wärmeentstehung mit einer guten Schmierwirkung deutlich herabzusetzen, kann z.B. Schleifen mit Öl und EP-Zusätzen trotz ungünstigerer physikalischer Eigenschaften, Vorteile gegenüber wässrigen Emulsionen haben.

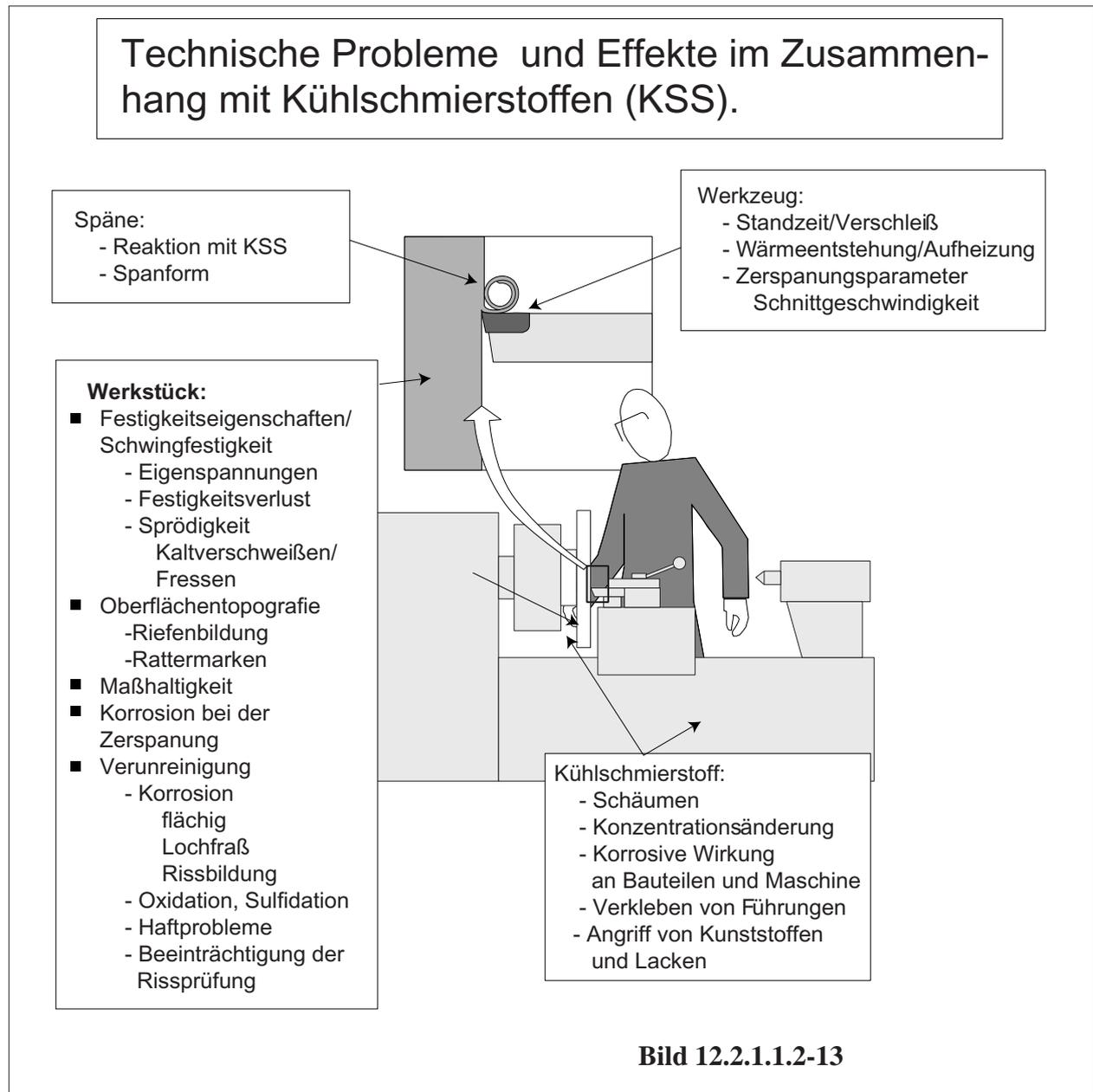
Verminderte Schaumbildung: Die Schaumbildung ist von der Wasserqualität stark beeinflusst. Weiches Wasser fördert die Schaumbildung. Ist die Schaumbildung zu stark, kommen in manchen Fällen **Entschäumer** („**Schaumbremse**“) auf Silikonbasis (**Silikonöl**) zum Einsatz. Der Einsatz solcher Entschäumer kann jedoch im Hinblick auf die Eindringprüfung äußerst problematisch sein (Bild 12.2.1.1.2-13, Band 4, Bild 17.3.1-8 und Bild 18.3-3).

Bild 12.2.1.1.2-13: Der Fließtext auf Seite 12.2.1.1.2-21 und -22 beschreibt bereits wichtige positive **Eigenschaften des KSS**. Der nachfolgende Text konzentriert sich deshalb auf die problematischen Aspekte.

Im Vordergrund steht die Sicherheit des Bauteils. So gesehen sind die Einflüsse auf die **Festigkeitseigenschaften, insbesondere die Schwingfestigkeit** von besonderem Interesse. Temperaturen und plastische Verformungen beim Schnittvorgang hängen außer vom Werkstoff besonders von den Schmier- und Kühleigenschaften des KSS ab. Das hat u.a. Auswirkungen auf die Temperatur, die das Werkstück beim Schnittvorgang erreicht und den Verschleiß des Werkzeugs. Davon sind im Bauteil zurückbleibende unerwünschte Zug-

eigenspannungen, ein eventueller Festigkeitsverlust (z.B. Lösungsglühen bei Ni-Legierungen, Anlassen bei Vergütungsstählen) und eine **Versprödung** (z.B. durch **Sauerstoffaufnahme bei Titanlegierungen**), beeinflusst. Spanende Verfahren mit definierter Schneide können die Oberfläche überbeanspruchen und aufreißen lassen. Dies ist z.B. im Bereich von **Rattermarken** (Band 4, Bild 18.5-2) und als **Kommarisse** (Bild 12.2.1.1-2) in Nickellegierungen zu beobachten. Insbesondere **Schleifprozesse** können bei ungenügender KSS-Wirkung mit unzulässiger Werkstück-erwärmung, Zugeigenspannungen und Rissbildung (Warmrisse, Bild 12.2.1.1.1-4) ablaufen.

Fertigung: Verfahrensspezifische Probleme und Schäden: Drehen, Fräsen, Bohren



Die **Oberflächentopografie** des Werkstücks als Rauigkeit, insbesondere aber Riefenbildung und Rattermarken (Band 4, Bild 18.5-2) wirken sich auf die Schwingfestigkeit aus. Sie sind vom KSS deutlich beeinflusst. Bei einer Zerspanung mit undefinierter Schneide, in erster Linie Schleifen, wird Rautiefe und Riefenform (Band 4, Bild 18.1-1 und Bild 18.1-7) und damit die **Schwingfestigkeit in der Hauptsache von der Schleifscheibekörnung und der Werkstoffhärte** bestimmt. Auch die Reinheit des KSS bzw. die Abscheidung der Späne ist von Bedeutung. Verbliebene Schleifkörner im

auftreffenden KSS-Strahl können kleine Marken einschlagen (**Kommabildung**, nicht zu verwechseln mit Kommarissen; Lit. 12.2.1.1-23; engl: **Peppering**). Um dies zu vermeiden, ist der KSS beim Umlauf in der Maschine kontinuierlich geeignet zu reinigen. Dies ist umso effektiver, je dünnflüssiger der KSS ist. Unter diesem Gesichtspunkt hat ein relativ zähes Schleiföl eher Nachteile.

Werkzeugverschleiß beeinflusst die **Maßhaltigkeit** und nicht zuletzt über die Standzeit auch die **Zerspanungskosten** (siehe auch Bild 12.2.1.1.2-1 und Bild 12.2.1.1.2-2).

Während des Bearbeitungsprozesses kann es bereits zu **korrosivem Angriff** am Werkstück kommen (Lit. 12.2.1.1-23). Korrosion kann durch KSS auf unterschiedliche Weise ausgelöst oder begünstigt werden.

Zunächst besteht die Gefahr eines Angriffs des Bauteils, insbesondere wenn es über längere Zeit mit aggressiven KSS-Resten gelagert wird. Dabei kann es je nach Werkstoff bzw. Werkstoffzustand (z.B. Sensibilisierung), möglicher Elementbildung und Eigenspannungen vom flächigen Angriff über einen selektiven Angriff (Korngrenzen) bis zum Lochfraß und zur Spannungsrisskorrosion kommen (Band 1, Bild 5.6.1.1-1, Bild 5.6.1.1-4 und Kapitel 5.6.3.1.2). Insbesondere synthetische und teilsynthetische KSS können gegebenenfalls **Lackierungen** auf unbearbeiteten Werkstückoberflächen schädigen. Eine **Konzentrationssteigerung als Folge des Ausdampfens** kann diesen Effekt verstärken.

Schädigungsgefahr besteht auch für Kunststoffe sowie Isolations- und Dichtungswerkstoffe der Bearbeitungsmaschine und/oder des Werkstücks. Für **Bauteile mit organischen Komponenten** (Einlaufschichten, Lacke, Dichtstoffe, Klebeverbindungen) dürfte im Rahmen von **Reparatur- bzw. Nacharbeitsprozessen** auf Grund der genannten Effekte ein erhöhtes Schadensrisiko bestehen. Wirkt KSS als **Elektrolyt**, womit **oberhalb einem pH-Wert von 8** unbedingt zu rechnen ist, kann sich **Elementbildung** korrosiv bemerkbar machen. Denkbar ist ein Angriff von Leichtmetallen mit (Gewinde-) Einsätzen aus Stahl (z.B. **Gehäuse aus Al- und Mg-Legierungen**). Korrosion im Bereich von **Messingteilen** an Bearbeitungsmaschinen gehört zu dieser Problematik. Schäden können auch von **Verunreinigungen durch anhaftende Reste des KSS** sowie von **Reaktionsschichten** ausgehen.

Solche Verunreinigungen sind von großer, häufig unterschätzter, Bedeutung für das Werkstückverhalten im nachfolgenden Produktions- und Qualitätssicherungsprozess sowie im späteren Betrieb.

Folgt dem Zerspanungsvorgang eine Aufheizung, z.B. im Rahmen einer Wärmebehandlung oder Schweißung, können KSS-Rückstände und/oder Reaktionsschichten insbesondere mit Schwefel und Chlor **interkristallinen Angriff und/oder Spannungsrisskorrosion** auslösen (Band 4, Bild 18.3-16). **Bei Ni-Legierungen kann eine Schwefelanreicherung zu Sulfidation führen. Diese können weitere Verfahren** (z.B. Beschichtungen) **beeinträchtigen und/oder als Vorschädigung die Betriebslebensdauer verkürzen.**

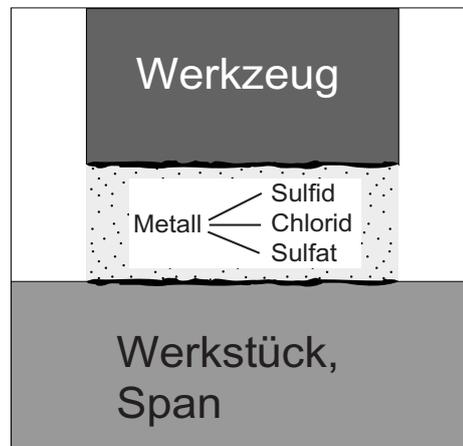
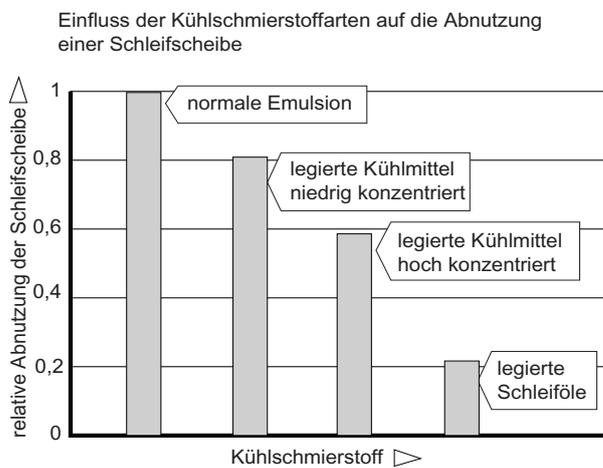
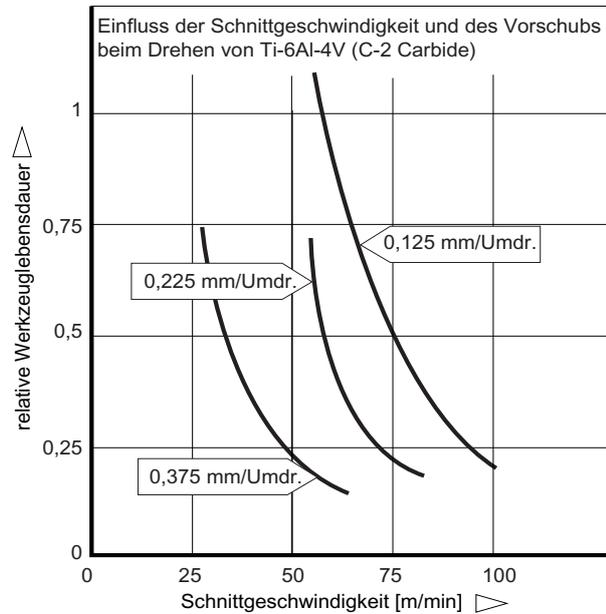
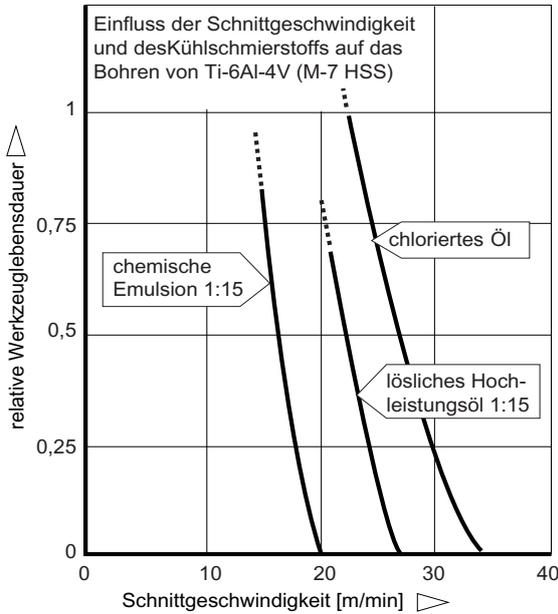
Besonders gefährlich sind Cl-haltige Rückstände auf Titanlegierungen. Bei Temperaturen oberhalb 450°C und ausreichend hohen Zugeigenspannungen, die man nicht immer ausschließen kann, ist mit Spannungsrisskorrosion zu rechnen (siehe auch Band 4, Bild 18.3-16).

Schwefelhaltige KSS lassen auf Buntmetallen und Bronzen (z.B. Gleitlagerwerkstoffe) sowie auf Silber dunkle Beläge entstehen. In engen Spielen kann das bis zum Klemmen führen (Lit. 12.2.1.1-23). **Silbersulfid hat, anders als metallisches Silber keine Schmierwirkung.** Damit wird das Anzugsmoment von Verschraubungen und das Verhalten von Gleitflächen im Betrieb verschlechtert. Ungenügende Vorspannung von Schrauben, Fressen und katastrophales Versagen von Bewegungsflächen (z.B. in Kraftstoffpumpen nach dem Axialkolbenprinzip) ist die Folge.

Ein Sonderproblem entsteht in der Anwendung von **Silikon** als **Schaumbremse**. Verbleiben Rückstände auf den Werkstücken, kann erfahrungsgemäß die **Benetzbarkeit merklich verschlechtert** werden. Das macht die **Eindringprüfung** zumindest fragwürdig. Derartige Rückstände können von Reinigungsbädern, auf denen sie als Film schwimmen, auf andere Bauteile übertragen werden (Band 4, Bild 17.3.1-8 und Bild 18.3-3). Das kann große Auswirkungen auf Zusatzkosten einer intensiven Reinigung und den Produktionsablauf haben.

Fertigung: Verfahrensspezifische Probleme und Schäden: Drehen, Fräsen, Bohren

Kühlschmierstoffe können die Werkzeuglebensdauer deutlich verlängern. Das ist aber kein Argument für Risiken.



Wirkmechanismus von Kühlschmierstoffen: chemische Reaktionen; Reaktionsschicht

Bild 12.2.1.1.2-14

Bild 12.2.1.1.2-14: Die **Werkzeuglebensdauer** ist von der Verschleißwirkung durch Werkstück und Späne auf die metallische Werkzeugschneide bestimmt. Nickellegierungen und insbesondere Titanlegierungen neigen zum Kaltverschweißen (Fressen, Lit. 12.2.1.1-24)

und sind damit sehr verschleißintensiv. Der Verschleiß ist u.a. abhängig von der Schnittgeschwindigkeit und dem Vorschub (Diagramm oben rechts, Lit. 12.2.1.1-2). Dabei scheint ein optimaler Zwischenwert für die Zustellung zu existieren. Um eine möglichst hohe Schnittge-

schwindigkeit mit entsprechend hoher Zerspanungsleistung bei akzeptabler Werkzeuglebensdauer zu erreichen, liest man immer wieder in der Fachliteratur von der Anwendung eines **KSS mit chlorhaltigen Zusätzen** (Diagramm oben links, Lit.12.2.1.1-2 und Lit 12.2.1.1-24). Solche Zusätze bilden unter Schnittbedingungen, wie bereits beschrieben, Reaktionsschichten (Skizze unten rechts, Lit. 12.2.1.1-21, Bild 12.2.1.1.2-14), die als Trockenschmierstoff wirken und den Verschleiß mindern. Wegen der **Spannungsrissskorrosionsgefahr** bei nachfolgender Wärme- einwirkung (Lit 12.2.1.1-25, Band 4, Bild 18.3-16 und Bild 12.2.1.7-8) und/oder im Betrieb ist von solchen KSS jedoch **für die Bearbeitung von Titanlegierungen unbedingt abzu- sehen**. Im Gegenteil ist auf eine sehr niedrige

Grenzkonzentration zu achten (Lit. 12.2.1.1-1, siehe Merksatz). Vorsicht ist auch **bei schwefelhaltigen KSS** geboten. Es steht zu befürchten, dass schwefelhaltige Reaktionsschichten z.B. bei Nickellegierungen, möglicherweise im Zusammenhang mit nachfolgenden Wärmebehandlungen, im späteren Betrieb Sulfidation auslösen. Mit einer Verkürzung der Inkubationszeit nimmt die Betriebslebensdauer entsprechend ab.

Beim **Schleifen** lässt sich mit legierten KSS, insbesondere **Schleifölen**, die Abnutzung der Schleifscheibe entscheidend vermindern (Schaubild unten links, Lit. 12.2.1.1-23). Auch hier gilt die Vermeidung von Cl, S und anderen reaktiven Zusätzen die das Betriebsverhalten des Bauteils beeinträchtigen können.

Merksatz:

Nur zugelassene Kühlschmierstoffe verwenden. Produktwechsel muss die zuständige Fachabteilung zulassen.

Besondere Vorsicht bei

- chlorhaltigem Anteil: Der Cl-Gehalt muss unter 0,01 % liegen,
- schwefelhaltigem Anteil,
- Silikonzusätzen (Entschäumungsmittel)

Bild 12.2.1.1.2-15: Im Triebwerksbau werden brand- und explosionsgefährliche Werkstoffe wie Titan- oder Magnesiumlegierungen spanend bearbeitet. Sie sind in Form von Spänen an Luft entzündlich und als Staub explosiv. Ansammlungen trockener Magnesiumspäne (**Spänenester**, Zündtemperatur ab 480°C) können sich bei Zerspanungstemperatur entzünden. Mit **CO₂**, oder **Stickstoff kann Titan- oder Magnesiumstaub** in einer stark exothermen Reaktion explosionsartig Karbide oder Nitride

bilden (Lit. 12.2.1.1-27). Damit sind auch diese Gase als etwaige Schutzgase in Werkzeugmaschinen problematisch. Auch **Feuchtigkeit** verhindert Brände nicht. **Löschversuche mit Wasser sind gefährlich**. Es bildet sich **Wasserstoff** und mit Luft ein äußerst explosives **Knallgasgemisch**.

Eine weitere Möglichkeit für Brände und Verpuffungen ist die **Zündung des KSS**. Das gilt besonders für **KSS-Nebel** (Schneidöl). Es kommt zu **Verpuffungen** mit Druckanstieg. Die

Soweit darf es nicht kommen. Austretendes Feuer nach der Entzündung des KSS-Ölnebels beim Schleifen eines Werkstücks aus einer Titanlegierung.

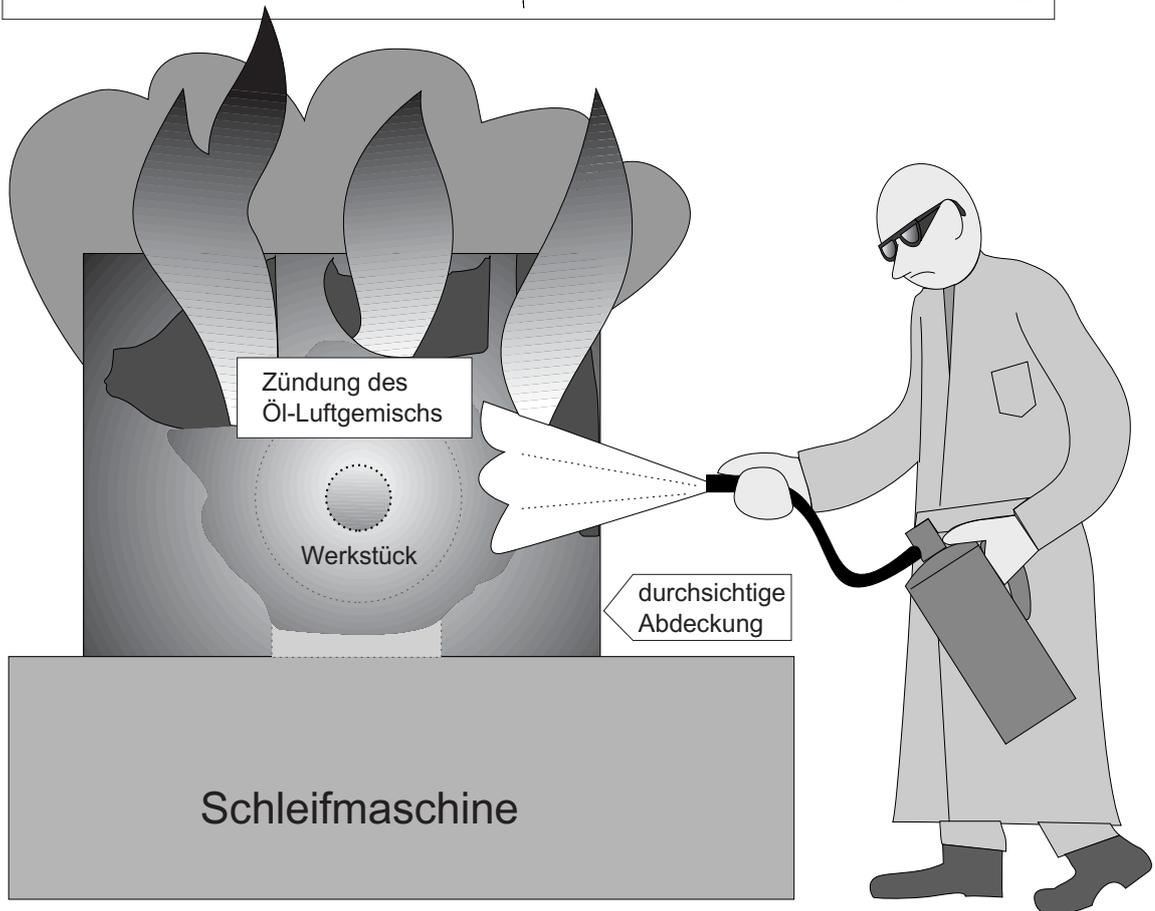


Bild 12.2.1.1.2-15

Brandgefahr beruht auf der **Verteilung des Ölnebels** und auf der **Zündtemperatur**. Sie ist vom zerspannten Werkstoff unabhängig. Es darf jedoch angenommen werden, dass speziell Titanfunken wegen ihrer großen Hitzeentwicklung im Flug, ein hohes Zündrisiko darstellen.

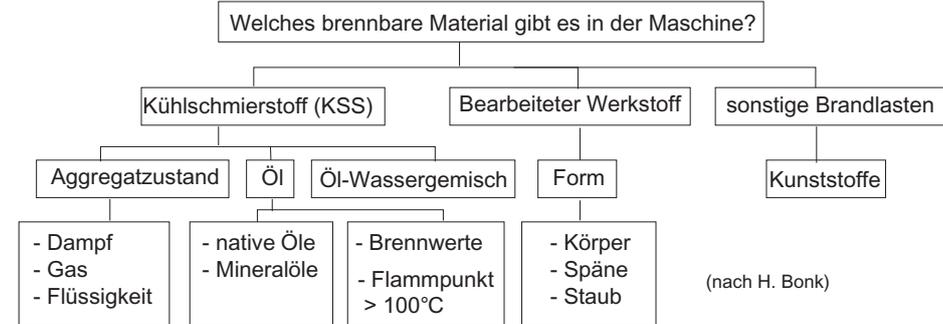
Je niedriger der **Flammpunkt des KSS** (häufig unter 150°C) umso leichter ist es zu zünden. Flammpunkte unter 100 °C gelten für brennbare Flüssigkeiten mit besonderen Sicherheitsauflagen. Der Flammpunkt kann von einem **Alterungsprozess** bei der Zerspaltung weiter abgesenkt werden. Ist eine Entzündung erfolgt, brennen auch KSS mit deutlich höheren Flammpunkten (>200°C).

Wasser-KSS-Gemische sind erst ab zweistelligen Zumischraten des KSS ein Brandrisiko. Die häufigsten **Zündquellen** sind **Werkzeugbruch, Ausfall der KSS-Zufuhr oder Programmierfehler der Werkzeugmaschine**.

Gegen Explosionen und Brände in Werkzeugmaschinen gibt es erfolgreiche Strategien (Bild 12.2.1.1.2-15, Lit. 12.2.1.1-27).

Die Brandgefahr bei der Zerspanung lässt sich minimieren.

Bewertung von Gefährdungspotenzial



Gefährdung bei Bearbeitungsverfahren

Zerspanung	Gefährdungspotential
mit Öl	Ölbrand, Verpuffung, Metallbrand
mit Emulsion	Knallgasbildung, Metallbrand
trocken	Metallbrand Staubexplosion

Ermittlung der Gefährdungspotenziale

- Risiko brennbares Material: Schleifmaschinen, Drehmaschinen, Fräsmaschinen, Tiefbohrmaschinen
- Risiko Zündquellen: Funkenerosionsmaschinen (EDM), HSC-Maschinen
- Risiko Brennstoffverteilung: Schleifmaschinen, Absauganlagen, Hochgeschwindigkeitsbearbeitung, Magnesiumbearbeitung und Titanbearbeitung

Bild 12.2.1.1.2-16

Bild 12.2.1.1.2-16 (Lit. 12.2.1.1-27): Das **Gefährdungspotenzial** eines Zerspanungsvorgangs durch Brand und/oder Explosion ist von mehreren Einflüssen abhängig (Rahmen oben). Neben Risiken des **zerspanten Werkstoffs** (Bild 12.2.1.1.2-13), der **Zündquelle** und der **Brennstoffverteilung** (Rahmen unten rechts) spielt das **Bearbeitungsverfahren** (Rahmen unten links) eine Rolle. Am gefährlichsten sind **brennbare Kühlschmierstoffe** wie Mineralöl oder native Öle.

Das **CE-Zeichen** auf der Maschine sagt aus: „Die Maschine muss so konzipiert sein, dass jegliche von der Maschine selbst oder durch Gase, Flüssigkeiten, Dämpfe, Stäube oder anderen von der Maschine freigesetzten oder verwendeten Substanzen verursachte Brand-Überhitzungs- oder Explosionsgefahr vermieden wird.“

Die Einhaltung dieser Richtlinie garantiert nur die Mindestsicherheitsstandards, ein Restrisiko wird toleriert.

Das Risiko von **Explosionen** wird mit **vorbeugenden Maßnahmen** begrenzt. Darüber hinaus sind **konstruktive Maßnahmen** möglich. Gegen Brände werden in die Werkzeugmaschinen **kleine Löschsysteme integriert**. Sie reagieren so schnell (Millisekunden bis Sekunden), dass Schäden minimiert werden. Flutzeiten von **Gaslöschanlagen**, um Rückzündungen zu vermeiden, liegen bei 30 Sekunden.

Für kürzeste Reaktions- bzw. Löschzeiten ist ein im Löschsystem **integriertes automatisches Detektionssystem** wichtig.

Die Erfahrung zeigt, dass **Modellbetrachtungen im Labormaßstab nicht ausreichend realistisch** sind.

Industrielle Züchtung von Mikroorganismen der unerwünschten Art. Deren Herkunft ist vielfältig.

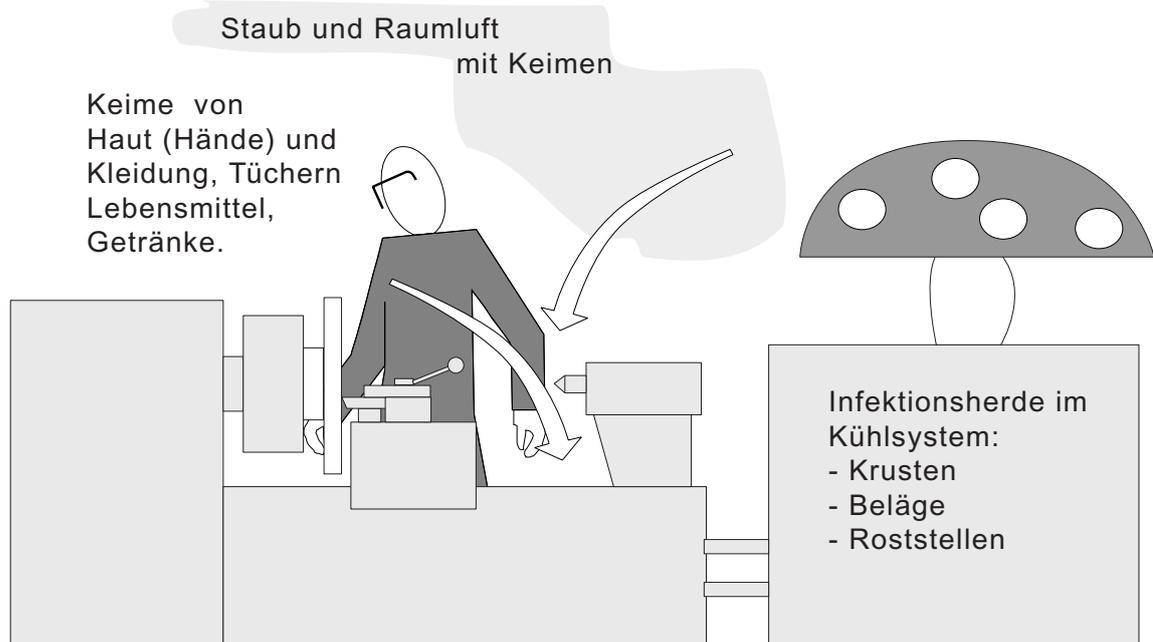


Bild 12.2.1.1.2-17

Bild 12.2.1.1.2-17 (Lit. 12.2.1.1-31): Für die spanende Bearbeitung spielen **Öl-Wasser-Emulsionen** als KSS (Bild 12.2.1.1.2-14) eine bedeutende Rolle. Sie sind jedoch mehr als reine Öle für die Bildung von Mikroorganismen empfindlich. Sie zersetzen den KSS chemisch. So beeinträchtigen sie entscheidend die erwünschten Eigenschaften, insbesondere die **Schmierwirkung**. Äußerlich macht sich dies durch eine ausgeprägte Trübung und ungewöhnlich unangenehmen Geruch bemerkbar. Man spricht von einem **'Zusammenbruch'** der Emulsion. Dabei wachsen die Öltröpfchen und es kommt zur **Entmischung des Öls vom Wasser**. Sinkt der **pH-Wert** vom leicht basischen in den sauren Bereich entsteht **Korrosionsgefahr**. Es kommt zum **Rosten** der Bearbeitungsma-

schinen und Werkstücke sowie erhöhtem **Ver-schleiß** wegen der ungenügenden Schmierwirkung.

Eine Verunreinigung des KSS mit schädigenden Keimen kann auf vielfältige Weise geschehen (Beispiel 12.2.1.1-1). Dabei bedeutet Trinkwasserqualität bei der Anmischung jedoch kein Risiko. Besonders übel sind nach einem Wechsel im System verbliebene Reste infizierten KSS. Das kann in wenigen Wochen als Folge eines sofort eintretenden exponentiellen Wachstums wieder zur Unbrauchbarkeit führen. Schon die KSS-Kosten verbieten aber einen häufigen Wechsel. Dieser Effekt wird von einem **Nachfüllen** der verbrauchten KSS noch unterstützt.



Beispiel 12.2.1.1.2-1: In einer spanenden Herstellung von Triebwerksteilen kam es trotz modernster Werkzeugmaschinen und Anlagen wiederholt zu extremer Bildung von Mikroorganismen im KSS. Weil die Zerspanungsmaschinen an einer großen **Zentralversorgung** des KSS angeschlossen waren, war von dem Ausfall ein großer Teil der Maschinen betroffen. Dabei veränderte sich der KSS und Geruchsbelästigung trat auf. Örtlich traten im System

massive **gallertige Ablagerungen** auf. Das ging bis zur **Verstopfung**.

Die Probleme entstanden in den **Sommermonaten bei großer Hitze**. Eine Recherche ergab, dass das Phänomen offenbar im Zusammenhang mit der nicht bekannten Angewohnheit mancher Werker bestand, sich die **Füße in dem KSS zu waschen**. Damit lag die Vermutung nahe, dass **Fußpilz** in die Anlage geriet und sich dort vermehrte (Bild 12.2.1.1-15).

Im Betrieb werden bei Sauerstoffzufuhr (Schaumbildung) andere, weniger problematische Mikroorganismen (aerobe) unterstützt als im **Stillstand** (anaerobe). Diese wirken sich sehr negativ auf die Eigenschaften des KSS aus. Sie bilden Schwefelwasserstoff mit dem typischen unangenehmen **Geruch fauler Eier**.

Typische Keime in KSS sind:

Am häufigsten sind Keime die beim Herstellen der Emulsion während des **Mischens des Öls mit Wasser** eingebracht werden.

Sog. **Sporenbilder** sind besonders widerstandsfähig und können deshalb **mit der Luft** zugeführt werden.

Mit der Luft werden auch **Hefen und Schimmelpilze direkt oder an Staub** haftend transportiert.

Selbst das Auftreten von **Salmonellen** wird nicht ausgeschlossen.

Solange Sauerstoff im KSS vorhanden ist entsteht durch die aeroben Mikroorganismen lediglich eine braune Verfärbung und ein Ölfilm an der Oberfläche. Der Zusammenbruch des KSS mit Bildung von **Schwefelwasserstoff** (Geruch), **Versäuerung und Schwarzfärbung** (Eisensulfid) erfolgt erst durch Schwefelbakterien unter Sauerstoffmangel. Sie werden erst aktiv, nachdem der Sauerstoff von den anderen Mikroorganismen verbraucht wurde.

Die **Überwachung des KSS** erfolgt deshalb bereits in der aeroben Phase durch ständige Kontrollen. Dabei ist die Zahl der Keime wegen ihrer exponentiellen Vermehrung das Kriterium.

Weil die Keime im KSS auch für die Mitarbeiter **gesundheitsbedenklich** sind, muss dieses auch auf solche **'Problemkeime'** untersucht werden.

Fertigung: Verfahrensspezifische Probleme und Schäden: Drehen, Fräsen, Bohren

Untersuchungen zeigten, dass das größte **Infektionsrisiko** (eiternde Entzündungen) bei Hautverletzungen, insbesondere Schnitte an den Händen, von kontaminierten Bohröl-emulsionen ausgeht.

Bei unzureichender Hygiene können über die Hände oder Kleidung Hefen und Pilze aufgenommen werden. Auch von Hautallergien können gesundheitsschädliche Keime z.B. in das Essen gelangen.

Werden Keime aus stark infizierten **KSS-Nebeln eingeatmet**, sind allergische Reaktionen und Fieber möglich.

Der **Nachweis von problematischen Keimen** in Ölemulsionen erfolgt wie bei Lebensmitteln. Dabei bringt man einen geeigneten Nährboden, vorzugsweise ein sog. Universalnährboden, mit der Emulsion in Kontakt. Dies kann verfahrensabhängig auf unterschiedliche Weise geschehen. Für eine grobe Schätzung genügt das „dip slide“-Verfahren, bei dem ein Nährbodentragender Objektträger in das KSS getaucht wird. Die Auswertung erfolgt nach einiger Zeit in einem Brutschrank. Hefe- und Schimmelpilzbefall weisen auf die Möglichkeit einer Hautbeeinflussung hin.

Mikrobielle Verunreinigungen sind in Kühlschmierstoffen **nicht vollkommen vermeidbar**. Ihr Konzentration ist jedoch möglichst gering zu halten. Dafür nutzt man geeignete **Desinfektionsmittel** (Biozide). Ihre Konzentration im KSS ist auf den jeweiligen Fall abzustimmen. Bei einer Unterdosierung besteht die Gefahr resistenter Keime, aber auch eine Überdosierung ist zu vermeiden.

Für die gründliche **Reinigung und Neufüllung** eines betroffenen KSS-Systems (Leitungen und Behälter) verwendet man mechanische Verfahren. Alle **Schmutzkrusten und Beläge** sind als Keimnester sicher zu entfernen. Danach ist ausgiebig zu **spülen**, bevor eine Desinfektion vor der frisch angesetzten Neubefüllung erfolgt. Bei einer Anmischung auf **Vorrat besteht die**

Gefahr, dass sich bereits zu viele Keime während der Lagerung gebildet haben.

Bei **Stillstand der Maschinen** muss im System ausreichend Sauerstoff vorhanden sein (**Belüftung**), um die besonders schädlichen Schwefelorganismen zu verhindern.

Literatur zu Kapitel 12.2.1.1.2

- 12.2.1.1.2-1** P.Adam, „Fertigungsverfahren von Turboflugtriebwerken“, Birkhäuser Verlag, 1998, ISBN 3-7643-5971-4, Seite 61, 63, 104, 240.
- 12.2.1.1.2-2** M.Field, J.F.Kohles, W.P.Koster, „Surface Finish and Surface Integrity“, ASM Handbook Vol.16 „Machining“, ASM International, ISBN 0-871170-377-7, 1989, Seite 19-36.
- 12.2.1.1.2-3** A.A.Kendall, „Tool Wear and Tool Life“, ASM Handbook Vol.16 „Machining“, ASM International, ISBN 0-871170-377-7, 1989, Seite 37-48.
- 12.2.1.1.2-4** „Regenerativeneffekt“, [Ahrrp://de.wikipedia.org/wiki/Regenerativeneffekt](http://de.wikipedia.org/wiki/Regenerativeneffekt), Stand Sept. 2011, 1 Seite.
- 12.2.1.1.2-5** J.Lil, „Versuch - Ratterschwingungen an Werkzeugmaschinen“, April 2006, www.ifwe.uni-hannover.de/.../AML-Skript_Ratterschwingungen.pdf, Seite 1-17.
- 12.2.1.1.2-6** „Standzeit“, [Ahrrp://de.wikipedia.org/wiki/Standzeit](http://de.wikipedia.org/wiki/Standzeit), Stand Juli. 2012, 1 Seite.
- 12.2.1.1.2-7** H.Fritz, G.Schulte, „Fertigungstechnik“, 9. unbearbeitete Auflage 2010, Springer Verlag Heidelberg Dordrecht, London New York, ISBN 978-3-642-12879-0, Seite 271.
- 12.2.1.1.2-8** S.Nachtmann, „Metal Cutting and Grinding Fluids“, ASM Handbook Vol.16 „Machining“, ASM International, ISBN 0-871170-377-7, 1989, Seite 121-132.
- 12.2.1.1.2-9** „Entwicklung leicht bearbeitbarer Titanlegierungen - Automatentitan“, Institut für Werkstoffe (IfW) der TU-Braunschweig, 2009, www.tu-braunschweig.de/ifw/forschung/neuwerkstoffe/automatentitan, Seite 1-3.
- 12.2.1.1.2-10** „Metallspan“, <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/2506917>, Stand 2012, Seite 1-5.
- 12.2.1.1.2-11** A.Geiss, „Spanbildung - Spanvolumen, Spanraumzahl“, SFT 02,2002, FH - Deggendorf, fmaschinenbau.fh.funpic.de/2.../SFT%2002%20Spanbildung.pdf, Seite 1-9.

Literatur zu Kapitel 12.2.1.1.2

- 12.2.1.1.2-1** P.Adam, „Fertigungsverfahren von Turboflugtriebwerken“, Birkhäuser Verlag, 1998, ISBN 3-7643-5971-4, Seite 61, 63, 104, 240.
- 12.2.1.1.2-2** M.Field, J.F.Kohles, W.P.Koster, „Surface Finish and Surface Integrity“, ASM Handbook Vol.16 „Machining“, ASM International, ISBN 0-871170-377-7, 1989, Seite 19-36.
- 12.2.1.1.2-3** A.A.Kendall, „Tool Wear and Tool Life“, ASM Handbook Vol.16 „Machining“, ASM International, ISBN 0-871170-377-7, 1989, Seite 37-48.
- 12.2.1.1.2-4** „Regenerativeneffekt“, [Ahrrp://de.wikipedia.org/wiki/Regenerativeneffekt](http://de.wikipedia.org/wiki/Regenerativeneffekt), Stand Sept. 2011, 1 Seite.
- 12.2.1.1.2-5** J.Lil, „Versuch - Ratterschwingungen an Werkzeugmaschinen“, April 2006, www.ifwe.uni-hannover.de/.../AML-Skript_Ratterschwingungen.pdf, Seite 1-17.
- 12.2.1.1.2-6** „Standzeit“, [Ahrrp://de.wikipedia.org/wiki/Standzeit](http://de.wikipedia.org/wiki/Standzeit), Stand Juli. 2012, 1 Seite.
- 12.2.1.1.2-7** H.Fritz, G.Schulte, „Fertigungstechnik“, 9. unbearbeitete Auflage 2010, Springer Verlag Heidelberg Dordrecht, London New York, ISBN 978-3-642-12879-0, Seite 271.
- 12.2.1.1.2-8** S.Nachtmann, „Metal Cutting and Grinding Fluids“, ASM Handbook Vol.16 „Machining“, ASM International, ISBN 0-871170-377-7, 1989, Seite 121-132.
- 12.2.1.1.2-9** „Entwicklung leicht bearbeitbarer Titanlegierungen - Automatentitan“, Institut für Werkstoffe (IfW) der TU-Braunschweig, 2009, www.tu-braunschweig.de/ifw/forschung/neuwerkstoffe/automatentitan, Seite 1-3.
- 12.2.1.1.2-10** „Metallspan“, <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/2506917>, Stand 2012, Seite 1-5.
- 12.2.1.1.2-11** A.Geiss, „Spanbildung - Spanvolumen, Spanraumzahl“, SFT 02,2002, FH - Deggendorf, fmaschinenbau.fh.funpic.de/2.../SFT%2002%20Spanbildung.pdf, Seite 1-9.