

# Trockenbearbeitung in der Praxis

Vorteile  
Stand der Technik  
Umsetzung im Betrieb  
Arbeitskreis Trockenbearbeitung



Baden-Württemberg

LANDESGEWERBEAMT

Impressum:

Herausgeber: Landesgewerbeamt Baden-Württemberg  
Informationszentrum für betrieblichen Umweltschutz  
Willi-Bleicher-Straße 19  
70174 Stuttgart  
Tel. 0711/123-2573  
E-Mail: roland.schestag@lgabw.de

Erarbeitung: ABAG-itm Gesellschaft für innovative Technologie- und  
Managementberatung mbH  
Stauferstraße 15  
70736 Fellbach  
Dipl.-Ing. Hermann Kissler  
Tel. 0711 / 951911-0  
E-Mail: kissler@abag-itm.de

Gestaltung: Rolf Ellwanger, Landesgewerbeamt Baden-Württemberg

Grafik  
Titelseite: Wolfgang Frank, Landesgewerbeamt Baden-Württemberg

Druck und  
Verarbeitung: Find Druck und Design AG, Stuttgart-Plieningen

Auflage 2004

#### **Mitglieder des Arbeitskreises Trockenbearbeitung**

Atlas Copco Electric Tools GmbH, Winnenden

BEW Umformtechnik GmbH, Rosengarten

Brueninghaus Hydromatik GmbH Bosch Rexroth AG, Horb

DaimlerChrysler AG, Mannheim

FAG Industrial Bearings AG, Schweinfurt

GETRAG SynchronTechnik GmbH, Oberstenfeld

Handwerksverband Metallbau und Feinwerktechnik  
Baden-Württemberg, Stuttgart

Henninger GmbH & Co. KG, Straubenhardt

JEL Präzisionswerkzeuge Joh.+ Ernst Link GmbH + Co. KG, Stuttgart

Jesinghaus & Co. Maschinenbau GmbH, Mosbach

Kelch GmbH + Co. Werkzeugmaschinenfabrik, Schorndorf

Mafell AG, Oberndorf

MTU Friedrichshafen GmbH, Friedrichshafen

Robert Bosch GmbH, Bühl

Spraying Systems Deutschland GmbH, Schorndorf

STAMA Maschinenfabrik GmbH, Schlierbach

Südwestmetall – Verband der Metall- und Elektroindustrie Baden-Württemberg e.V., Freiburg

VDMA Landesverband Baden-Württemberg, Stuttgart

Verzahnungstechnik Mädler GmbH, Stuttgart

Wohlhaupter GmbH Präzisionswerkzeuge, Frickenhausen

1	Einführung	3
2	Umwelt- und Arbeitsschutz bei der Metallbearbeitung mit Kühlschmierstoffen (KSS)	5
	Mengenbetrachtung	5
	Umwelt- und Arbeitsschutz durch KSS-Pflege	6
	Lagerung und Umgang mit KSS	9
	Kosten der Metallbearbeitung mit KSS	9
3	Vorteile der Metallbearbeitung (fast) ohne Kühlschmierstoffe	11
4	Trockenbearbeitung, Stand der Technik	14
	Minimalmengen-Schmierung (MMS)	16
	Schmierstoffe für MMS-Anwendungen	18
	Für Trockenbearbeitung/MMS geeignete Werkzeuge	18
	Anforderungen an eine trockenbearbeitungsgerechte Werkzeugmaschine	19
	Umweltaspekte der Trockenbearbeitung/MMS	19
5	Arbeitskreis Trockenbearbeitung	20
	Schwerpunktthemen und Anwendungsbeispiele	21
6	Vorgehensweise zur betrieblichen Einführung der Trockenbearbeitung	25
7	Anhang	27
	Verzeichnis weiterführender Literatur	27
	Adressen für weitere Informationen und Beratung	28
	Mitglieder des Arbeitskreises Trockenbearbeitung	

Bei der Metallbearbeitung werden heute noch zu über 90% Kühlschmierstoffe (KSS) verwendet. Der KSS-Einsatz ist jedoch mit erheblichem Zusatzaufwand und mit Kosten verbunden und birgt zudem Risiken im Arbeits- und Umweltschutz. Eine Alternative ist der Verzicht auf KSS, d. h. die Trockenbearbeitung.

Unter dem Oberbegriff Trockenbearbeitung versteht man in der Praxis zwei Verfahrensvarianten. Zum einen den vollständigen Verzicht auf jegliche Hilfsmittel und zum anderen die Minimalmengen-Schmierung. Diese Technologien haben in den letzten 15 Jahren einen Entwicklungsschub erfahren, nicht zuletzt dank erheblicher Förderung durch die öffentliche Hand. Sie stehen jetzt vor der breiten Umsetzung.

Das Informationszentrum für betrieblichen Umweltschutz (IBU) beim Landesgewerbeamt Baden-Württemberg hat diese Entwicklung aktiv unterstützt. Vor drei Jahren wurde ein Arbeitskreis Trockenbearbeitung eingerichtet, in dem sich mittelständische produzierende Betriebe über den Stand der Technik informieren und über die Möglichkeiten Trockenbearbeitung in die eigene Produktion einzuführen gegenseitig unterstützen und beraten lassen konnten.

Diese Broschüre soll die in diesem Arbeitskreis gewonnenen Erfahrungen weitergeben, über den Stand der Technik bei der Trockenbearbeitung informieren und aufzeigen, wie durch diese Technologie Effizienzsteigerungen bei gleichzeitiger, nachhaltiger Verbesserung der betrieblichen Umweltsituation erreicht werden können.

*R. Köpf-Schuler*

Rose Köpf-Schuler  
Stellvertretende Präsidentin  
Landesgewerbeamt Baden-Württemberg

Um metallische Werkstoffe zu bearbeiten, werden je nach Aufgabenstellung eine Vielzahl von unterschiedlichen Verfahren eingesetzt. Übergreifend werden diese Verfahren in spanlose Prozesse (z. B. Schmieden, Umformen, Biegen) und spanabhebende untergliedert (s. Abb. 1). Bei den spanabhebenden Verfahren wird zudem zwischen Bearbeitungsprozessen mit geometrisch bestimmter Schneide (z.B. Bohren, Fräsen, Sägen) und denen mit geometrisch unbestimmter Schneide (z.B. Schleifen, Läppen) unterschieden.

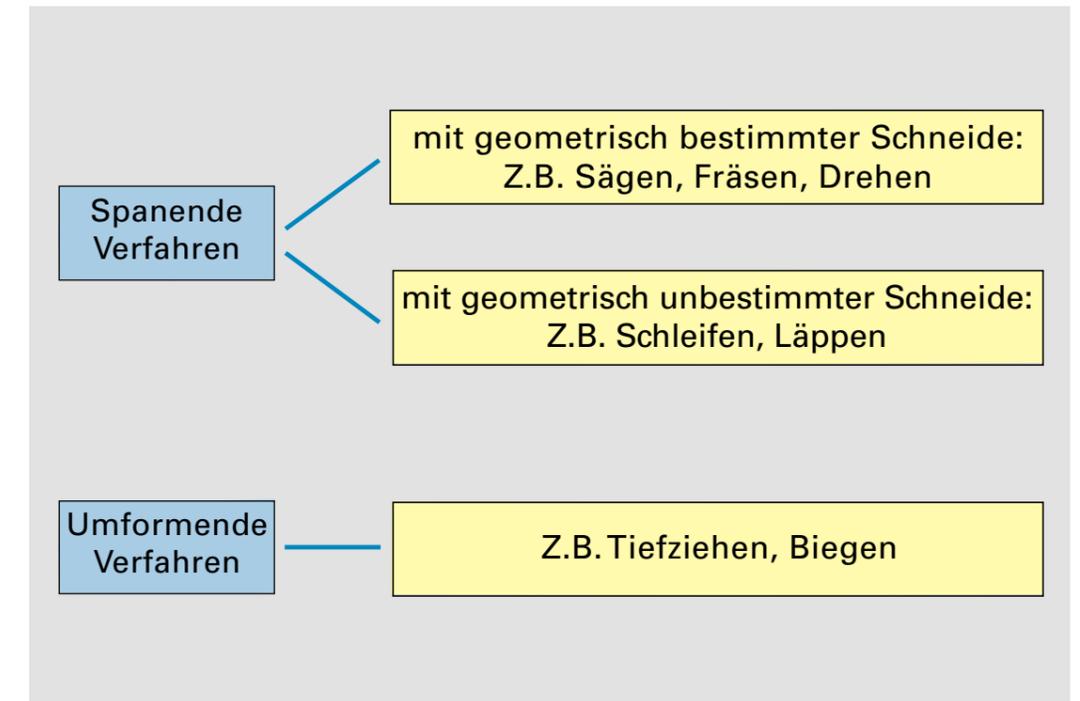


Abb.1:  
Einteilung der  
Metallbearbeitungs-  
prozesse

Beim Bearbeitungsprozess wird das Werkstück entweder mit Hilfe eines Werkzeugs umgeformt oder durch Abtrennung von Spänen in die gewünschte Form gebracht. In den Werkzeugmaschinen werden dabei mechanische Kräfte letztendlich immer in Wärme umgewandelt (Umformenergie, Reibenergie). Um diese Wärmeentwicklung, die sowohl das Werkstück als auch das Werkzeug beeinträchtigen kann, einerseits zu reduzieren und andererseits von der Bearbeitungsstelle abzuführen setzt man seit vielen Jahrzehnten Kühlschmierstoffe (KSS) ein. Aufgabe der KSS ist, wie in Abb. 2 schematisch dargestellt, die Reduzierung der Reib- oder Umformenergie, die Wärmeabfuhr von der Bearbeitungsstelle (Kühlung von Werkzeug, Werkstück und Maschine) und nicht zuletzt das Fortspülen der entstehenden Späne von der Bearbeitungsstelle.

## 2 Umwelt- und Arbeitsschutz bei der Metallbearbeitung mit Kühlschmierstoffen (KSS)

### Primäre Aufgaben von KSS

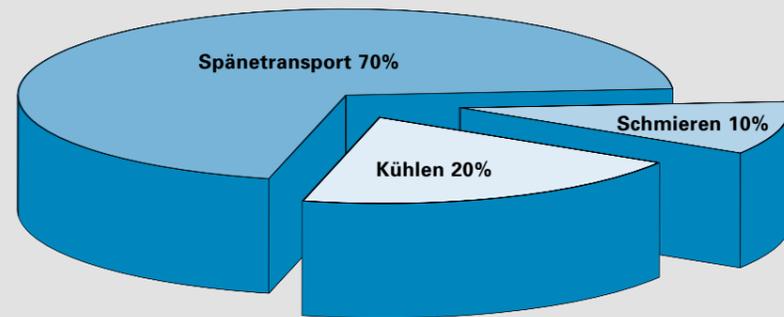


Abb.2: Aufgabenspektrum von Kühlschmierstoffen

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

### Mengenbetrachtung

In Deutschland werden derzeit jährlich ca. 80.000 t an KSS bei der Metallbe- und verarbeitung eingesetzt (s. Abb. 3). Zu unterscheiden sind dabei nichtwassermischbare KSS (Öle) und wassergemischte KSS (Emulsionen und Lösungen). Bei letzteren werden die Konzentrate mit 90 bis 97 % Wasser zum gebrauchsfähigen KSS angesetzt. Bei einer 5 %igen Mischung erhält man aus einem Liter Konzentrat 20 Liter gebrauchsfähige Emulsion. Bundesweit werden so aus ca. 31.000 t Konzentrat 620.000 t wassergemischte KSS.

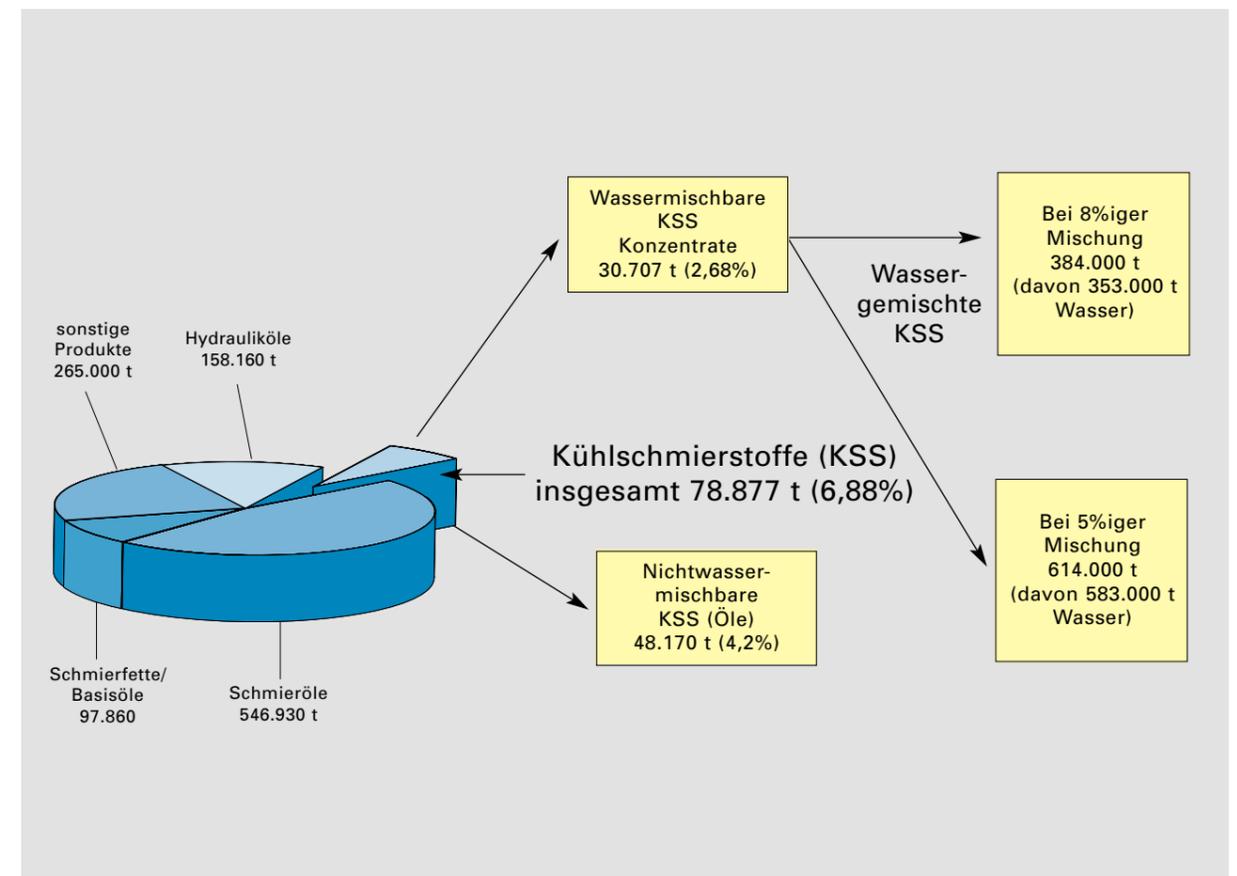


Abb 3: Schmierstoffverbrauch und Anteil an Kühlschmierstoffen in Deutschland (Bundesamt f. Wirtschaft, 2002)

### Umwelt- und Arbeitsschutz durch KSS-Pflege

Die Wirkstoffe der KSS (Öle, Additive) lagern sich bevorzugt an den Metalloberflächen an, wo sie ja auch wirken sollen, und werden demnach auch mit Werkstücken und Spänen aus dem Bearbeitungsprozess ausgetragen (vgl. Abb. 4). Zudem haben insbesondere wassergemischte KSS nur eine **begrenzte Lebensdauer** und müssen von Zeit zu Zeit (abhängig von der Belastung und der Pflege) ausgetauscht und entsorgt werden. Zusammen mit Spritzverlusten und Vernebelungen (insbesondere bei hohen Bearbeitungsgeschwindigkeiten) belasten **Rückstände und Verschleppungen** so nahezu den gesamten Produktionsbereich.

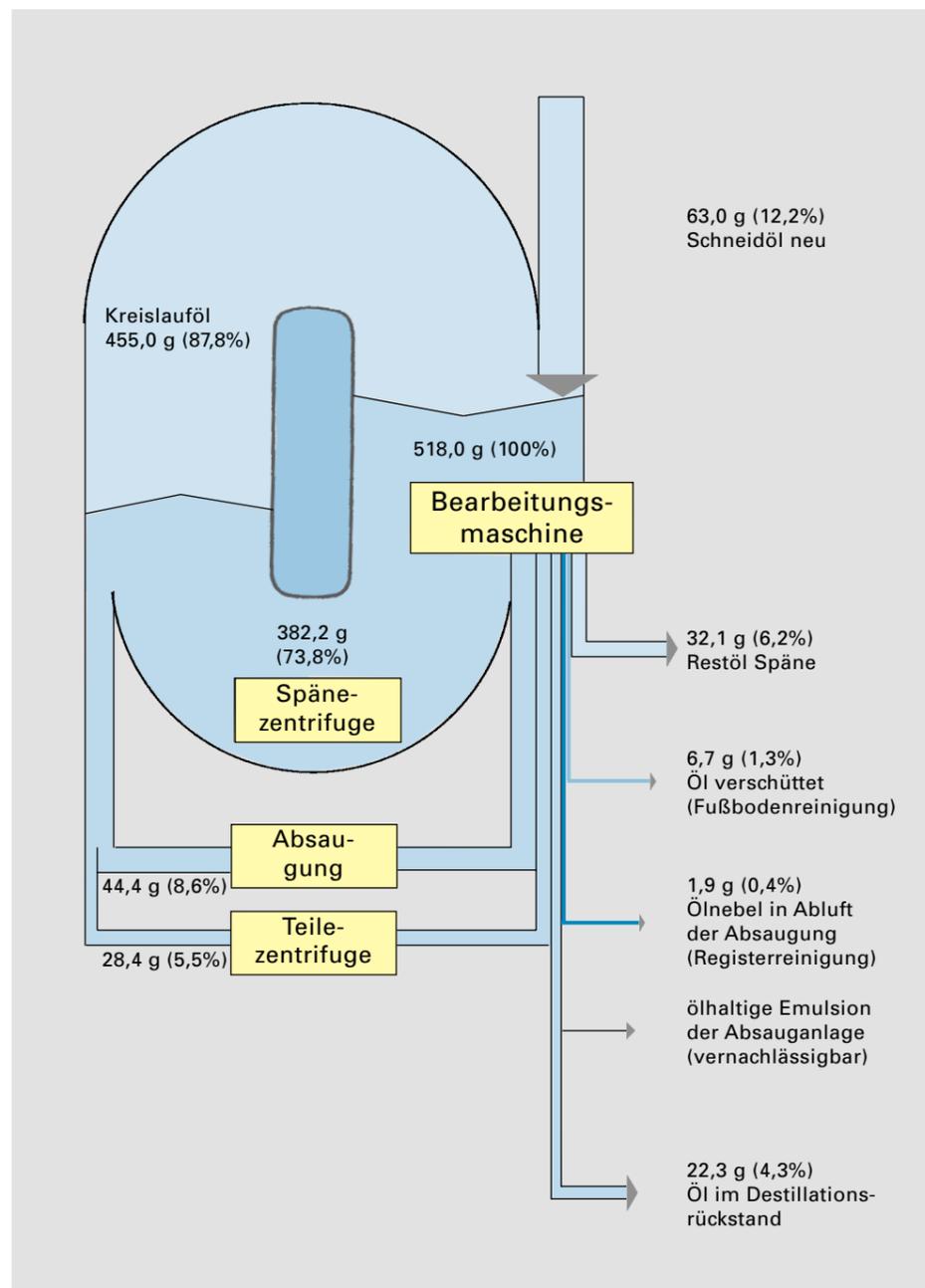


Abb.4:  
Austragsverluste aus dem  
Kühlschmierstoff-Kreislauf  
am Beispiel  
Messingbearbeitung  
(Fraunhofer-Gesellschaft,  
Institut Systemtechnik und  
Innovationsforschung)

In der Regel werden Kühlschmierstoffe im Kreislauf gefahren, entweder separat für jede Werkzeugmaschine (Einzelversorgung) oder für bestimmte Fertigungsbereiche über eine KSS-Zentralversorgung. Durch den Bearbeitungsprozess und die Umgebung gelangen jedoch immer Fremdstoffe in den Kühlschmierstoff: Feine Späne, Schleifscheibenabrieb, Öle, Korrosionsschutzmittel und Behandlungsrückstände von der Oberfläche der zu bearbeitenden Werkstücke aber auch Staub und Schmutz aus der Umgebung und durch Mitarbeiter. Diese Fremdstoffeinträge belasten den Kühlschmierstoff mehr als der eigentliche Bearbeitungsprozess. Um die Gebrauchsfähigkeit der KSS zu erhalten, müssen die eingetragenen Fremdstoffe daher möglichst umgehend wieder aus dem Kreislauf entfernt werden. Hierzu steht zwar ein umfangreiches Spektrum an erprobten Verfahren zur Verfügung, aber der Aufwand kann erheblichen Umfang annehmen. KSS-Öle sind vergleichsweise unempfindlich gegenüber eingetragenen Fremdstoffen. Normalerweise müssen nur feine Feststoffpartikel durch Filtration oder mittels Separatoren entfernt werden (Schleifschlamm). Wassergemischte KSS, also Emulsionen und Lösungen sind dagegen wesentlich empfindlicher, da in einem wässrigen System die Gefahr der Verkeimung besteht. Die erforderlichen Pflegemaßnahmen (Entfernung eingetragener Fremddöle und der Feststoffe) zur Erzielung guter Badstandzeiten sind deutlich aufwändiger. Die Kostenentwicklung in Abhängigkeit von der Badstandzeit zeigt Abb. 5. KSS-Emulsionen haben auch bei guter Pflege nur begrenzte Standzeiten (Anhaltspunkt: 1/2 Jahr bei einzelversorgten Maschinen und bis zu drei Jahren bei Zentralanlagen) und müssen dann, verbunden mit einer Maschinenreinigung, ausgetauscht werden.

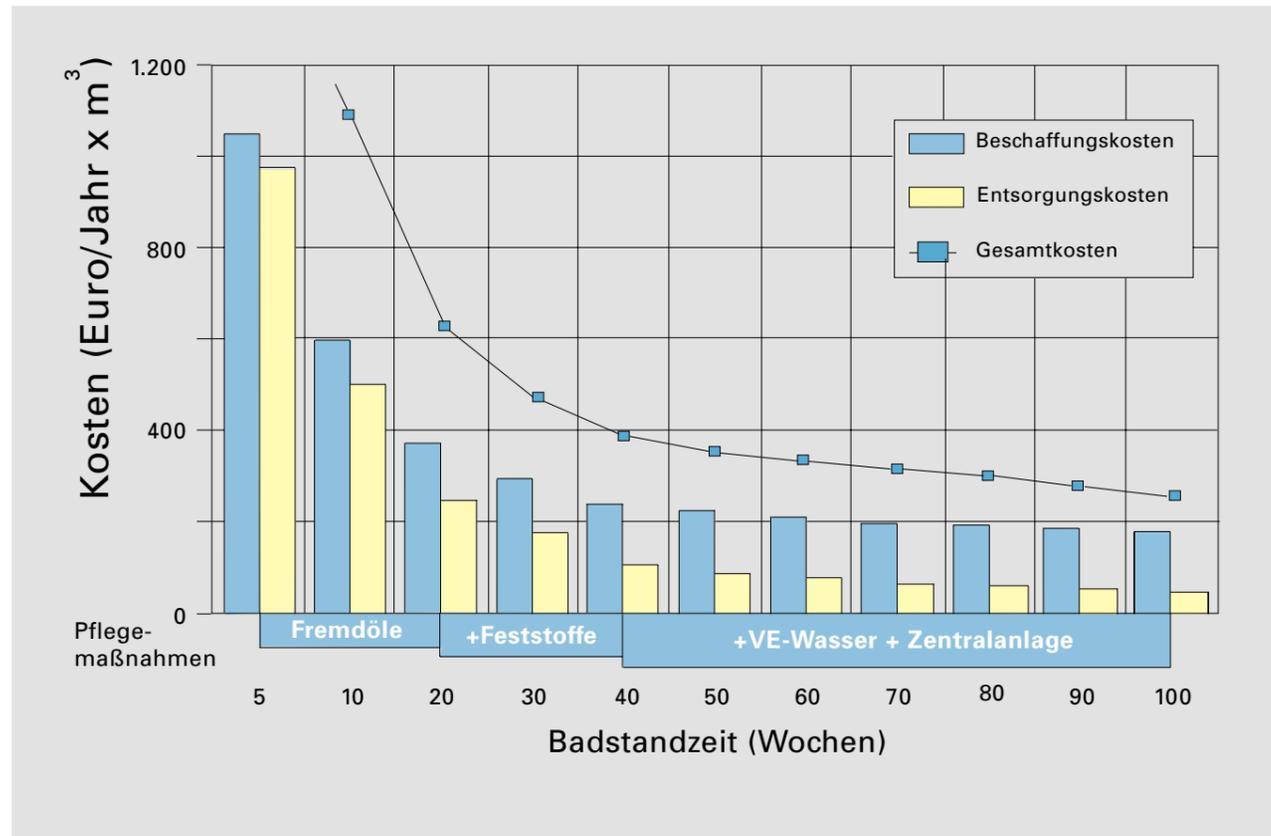


Abb.5:  
Kostenentwicklung  
bei Kühlschmierstoffen  
in Abhängigkeit von  
der Badstandzeit  
(ABAG-itm)

Beim KSS-Einsatz spielt auch der Arbeitsschutz eine bedeutende Rolle. Nicht nur die verwendeten Grundöle können bei unsachgemäßem Umgang Haut (vgl. Abb. 6) und Atemwege schädigen, sondern auch Additive und nicht zuletzt Reaktionsprodukte (z. B. Dämpfe und Crackprodukte), die im Prozess und im Bad durch biologische und chemische Reaktionen entstehen. Der Gesetzgeber hat hierzu verschiedene Vorschriften erlassen, die eine Gesundheitsgefährdung der Mitarbeiter vermeiden sollen. So gilt es z.B. eine maximale Arbeitsplatzkonzentration von unter  $10 \text{ mg Öl/m}^3$  Luft einzuhalten und bei wassergemischten KSS die Entstehung krebserzeugender N-Nitrosamine durch die Begrenzung des Nitritgehaltes auf unter  $20 \text{ mg/l}$  zu verhindern (vgl. Technische Regeln für Gefahrstoffe, TRGS 611: Verwendungsbeschränkungen für wassermischbare bzw. wassergemischte Kühlschmierstoffe, bei deren Einsatz N-Nitrosamine entstehen können). Auch wenn diese Vorgaben in der Regel keine Probleme darstellen, so müssen sie doch überwacht und die Mitarbeiter zum richtigen Umgang mit KSS regelmäßig informiert und geschult werden. Hierzu sind Unterweisungen durchzuführen und Betriebsanweisungen zu erstellen (siehe Gefahrstoffverordnung).

### Lagerung und Umgang mit KSS

KSS sind in der Regel wassergefährdende Stoffe. Bei Lagerung, Umgang, Transport und Entsorgung sind daher die geltenden Bestimmungen zur Vermeidung von Wasser- und Bodenkontaminationen zu beachten. Beim innerbetrieblichen Umgang sind insbesondere die Vorgaben des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) und der Anlagenverordnung wassergefährdende Stoffe (VAwS) zu berücksichtigen. In der VAwS sind Sicherheitsvorkehrungen für KSS-befüllte Maschinen und Behälter in Abhängigkeit vom Anlagenvolumen und der Wassergefährdungsklasse (WGK) vorgegeben. Die entsprechenden baulichen und anlagentechnischen Vorrichtungen und Maßnahmen sind als ein rein KSS-spezifischer Posten bei Investitionen zu berücksichtigen.

**Fazit: Der KSS-Einsatz ermöglicht zwar eine effektive Metallbearbeitung, ist aber auch mit erheblichem Aufwand, Gesundheits- und Umweltrisiken sowie Kosten verbunden.**



Abb.6:  
Beispiel einer  
KSS-bedingten  
Abnutzungsdermatose  
der Hand  
(Foto: Privat)

### Kosten der Metallbearbeitung mit Kühlschmierstoffen

Kostenfaktoren beim KSS-Einsatz sind keineswegs nur die Beschaffungs- und Entsorgungskosten, sondern sie resultieren auch aus zusätzlichen Investitionen (Behälter, Rohrleitungen, Pumpen, Filtrationseinrichtungen usw.) sowie z.B. den Personalkosten für die KSS-Überwachung, -Pflege und dem Reinigungsaufwand. Die durchschnittlichen Anteile sind in Abb. 7 zusammengestellt.

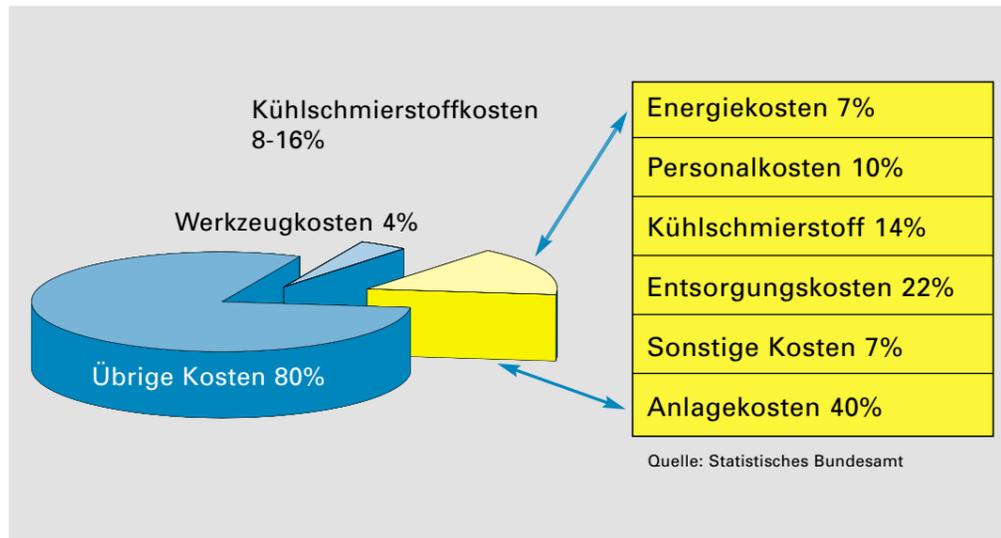


Abb.7: KSS-bedingte Kosten bei der Metallbearbeitung (Stat. Bundesamt)

Der genaue Anteil der KSS-spezifischen Aufwendungen und Kosten ist stark vom jeweiligen Bearbeitungsverfahren, vom Maschinenpark und auch von den baulichen Randbedingungen abhängig. Zudem werden die einzelnen Positionen nur selten verursacherbezogen erfasst und sind damit schlecht verfügbar. Verschiedene Untersuchungen haben ergeben, dass sich die **KSS-bedingten Kosten meist in einer Bandbreite von 2 bis 8% der Fertigungskosten** bewegen. Also eine im Vergleich zu den Werkzeugkosten ähnliche Größenordnung, bei der es sich lohnen sollte über Optimierungsmaßnahmen nachzudenken. Die nachfolgende Aufstellung (Tab. 1) soll dabei helfen sich einen ersten Überblick über die betrieblichen Aufwendungen zu verschaffen.

- Welche und wieviele KSS-Sorten werden eingesetzt?
- Beschaffungs- /Entsorgungskosten? (inkl. Lagerung)
- Wieviele Maschine werden
  - einzeln versorgt
  - über Zentralanlagen versorgt?
- Wie hoch ist/war der KSS-bedingte Anteil an den Investitionskosten?
- Wie hoch ist der Aufwand zur Überwachung und Pflege der KSS?
  - Invest- und Materialkosten
  - Personalaufwand bzw. -kosten
- Reinigungsaufwand: Maschinen, Behälter, Boden
- Aufwand zur Entölung von Werkstücken und Spänen
- Energieaufwand (Pumpen, Filter, Absaugung)
- 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.

Tab.1: Aufwandserfassung Ist-Zustand bei der Nassbearbeitung

Wie dargestellt belastet die konventionelle Metallbearbeitung mit Kühlschmierstoffen (Nassbearbeitung) trotz fortschrittlicher Entwicklungen die Umwelt und ist mit steigendem Aufwand und Kosten verbunden. Warum also nicht, wenn technisch möglich und wirtschaftlich attraktiv, auf Kühlschmierstoffe verzichten?

Unter dem **Oberbegriff Trockenbearbeitung** versteht man in der Praxis zwei Verfahrensvarianten. Zum einen den vollständigen Verzicht auf jegliche Hilfsmittel und zum anderen die sog. **Minimalmengen-Schmierung (MMS)**. Bei der MMS werden geringste Mengen (in der Regel 5 bis 30 ml/h) geeigneter Schmierstoffe auf den Wirkungsbereich Werkzeug/Werkstück aufgebracht. Der dünne Schmierfilm reduziert die Reib- und Umformenergie und damit die entstehende Wärme und reduziert den Werkzeugverschleiß.

Der Einsatz der Trockenbearbeitung beinhaltet etliche Vorteile, sowohl in Bezug auf Effizienzsteigerung und Kostenersparnis als auch in Bezug auf eine **nachhaltige Verbesserung der betrieblichen Umweltsituation und der Arbeitsplatzqualität**. Bei der Umsetzung müssen jedoch auch bestimmte Anforderungen an Prozess und Maschine gegeben sein. Die wesentlichen Aspekte sind in Tab. 2 zusammengestellt.

Verdeutlicht werden diese Kostenvorteile bei einem vereinfachten Vergleich der konventionellen Nassbearbeitung mit der Trockenbearbeitung mit MMS-Unterstützung. Am Beispiel einer einzelversorgten Maschine (z.B. CNC-Zentrum) sind die jeweiligen Positionen in Tab. 3 gegenübergestellt.

Vorteile	Voraussetzungen
<p><b>Vermeidung KSS-bedingter Probleme und Kosten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kein oder minimaler KSS-Bedarf</li> <li>• Reduzierte Investitionen (Behälter, Pumpen, Rohre, Pflegeeinrichtungen)</li> <li>• Keine KSS-bedingten Abfälle mehr</li> <li>• Preiswertere Späneentsorgung</li> <li>• Keine KSS-Überwachung und -Wartung</li> <li>• Saubere Umgebung und Teile</li> <li>• Bessere Sicht auf den Bearbeitungsvorgang</li> <li>• Verbesserter Arbeitsschutz und Arbeitshygiene</li> </ul> <p><b>Steigerung der Bearbeitungseffizienz</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnellere Bearbeitung möglich</li> <li>• Keine Thermoschockbelastung der Werkzeuge (Standzeiterhöhung)</li> <li>• Geringerer Platzbedarf</li> <li>• Weniger Nebentätigkeiten</li> </ul> <p><b>Optimierung der Prozessabläufe</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei sauberen Teilen kann ggf. auf Reinigungsprozesse verzichtet werden</li> <li>• Weniger Nebenprozesse</li> </ul>	<p><b>Trockenbearbeitungsfähiger Prozess</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Span- und Wärmeabfuhr muss gesichert sein</li> <li>• Kühlfunktion darf nicht im Vordergrund stehen</li> </ul> <p><b>Bei MMS nur geeignete Schmierstoffe verwenden</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Synthetische und native Produkte, keine Mineralöle</li> <li>• Absaugung wird empfohlen</li> </ul> <p><b>Trockenbearbeitungsfähige Werkzeugmaschinen erforderlich</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Komponenten mit KSS-bedingter Schmierung</li> <li>• Gesicherte Spanabfuhr</li> <li>• Stabiler Wärmehaushalt</li> </ul>

Tab.2: Vorteile und Voraussetzungen zur Trockenbearbeitung

	Kosten pro Monat	
	Nassbearbeitung	Trockenbearbeitung bzw. MMS-System
<b>Investitionen</b> Abschreibung (6 Jahre)	Alle Komponenten i. a. vorhanden	zusätzlich ca. 3.000 € <b>41,00 €/Monat</b>
<b>Kühlschmierstoff</b>  Verbrauch (Einschichtbetrieb) - durch Verschleppung (Späne, Werkstücke...)  - durch Verwurf (Emulsion: 3 Monate Standzeit)	Emulsion (5 %) 0,30 €/l (ca. 60 €/Badfüllung)  Umlaufsystem ca. 50 %/Monat = <b>30,00 €/Monat</b>  33 %/Monat = <b>20,00 €/Monat</b>	Für MMS geeignete KSS (synthetisch oder nativ) ca. 8 €/l  Verbrauch ca. 20ml/h = 3,2 l/Mon. Verlustschmierung <b>25,60 €/Monat</b>  entfällt
<b>Pressluft</b>	entfällt	Verbrauch ca. 50 l/Min. 230 m <sup>3</sup> /Mon. x 1,5 C/m <sup>3</sup> <b>3,40 €/Monat</b>
<b>Personal</b> Arbeitsaufwand für Ansetzen, Nachfüllen, KSS-Überwachung... (Stundensatz 30 €)	ca. 2 Std/Monat = <b>60 €/Monat</b>	entfällt
<b>Betriebsaufwand</b> Maschinenstillstand durch Reinigung, KSS-Wechsel... (Maschinenstundensatz 50 €/h)	ca. 3 Std. = <b>150 €/Monat</b>	ca. 0,5 Std. = <b>25,00 €/Monat</b>
<b>Entsorgung:</b> Austausch nach 3 Monaten Kosten: 250 €/m <sup>3</sup>	200 l Altemulsion x 0,3 60 l x 0,25 €/l = <b>15,00 €/Monat</b>	entfällt
<b>resultierende Gesamtkosten</b>	<b>275,00 €/Monat</b>	<b>95,00 €/Monat</b>
<b>Wirtschaftlicher Vorteil je Maschine: 180,00 €/Monat bei MMS und 250,00 €/Monat bei vollständiger Trockenbearbeitung</b>		

Tab.3:  
Vereinfachter Kostenvergleich  
Nass- /Trockenbearbeitung  
am Beispiel einer einzeln  
versorgten Werkzeugmaschine  
mit 200 l KSS- Volumen  
(ABAG-itm)

Schon bei dieser vereinfachten Darstellung wird deutlich, dass die entscheidenden Kosten keineswegs aus der Beschaffung und der Entsorgung der KSS, sondern aus indirekt resultierenden Kosten wie z. B. Personalkosten zur Pflege und Überwachung sowie Reinigungskosten resultieren. Bei Zentralanlagen zur KSS-Versorgung verschieben sich die Kosten von den (reduzierten) Personalkosten hin zu Investitionskosten für die Versorgungsanlagen und die Verrohrung. Nicht mit berücksichtigt wurden dabei eventuelle Kosten durch KSS-bedingte Krankheitsausfälle sowie Reinigungskosten (Werkstücke, Späne).

Wird der Betrachtungsrahmen auf die gesamte Prozesskette ausgeweitet, so ergeben sich teilweise neue Aspekte, die zu anderen Ergebnissen führen. Durch den Verzicht auf KSS können in vielen Fällen nachfolgende Prozessschritte, im einfachsten Fall nur ein Reinigungsschritt, maßgeblich beeinflusst werden, oder wie im schematischen Verfahrensablauf in Abb. 8 dargestellt, komplett entfallen.

Wie die Trockenbearbeitung und die Minimalmengen-Schmierung funktionieren, bei welchen Prozessen sie bereits realisiert sind, wie man zur Einführung in die Produktion vorgehen und welche Aspekte man dabei berücksichtigen sollte, hierzu sollen die folgenden Kapitel Grundinformationen und Hilfestellungen bieten.

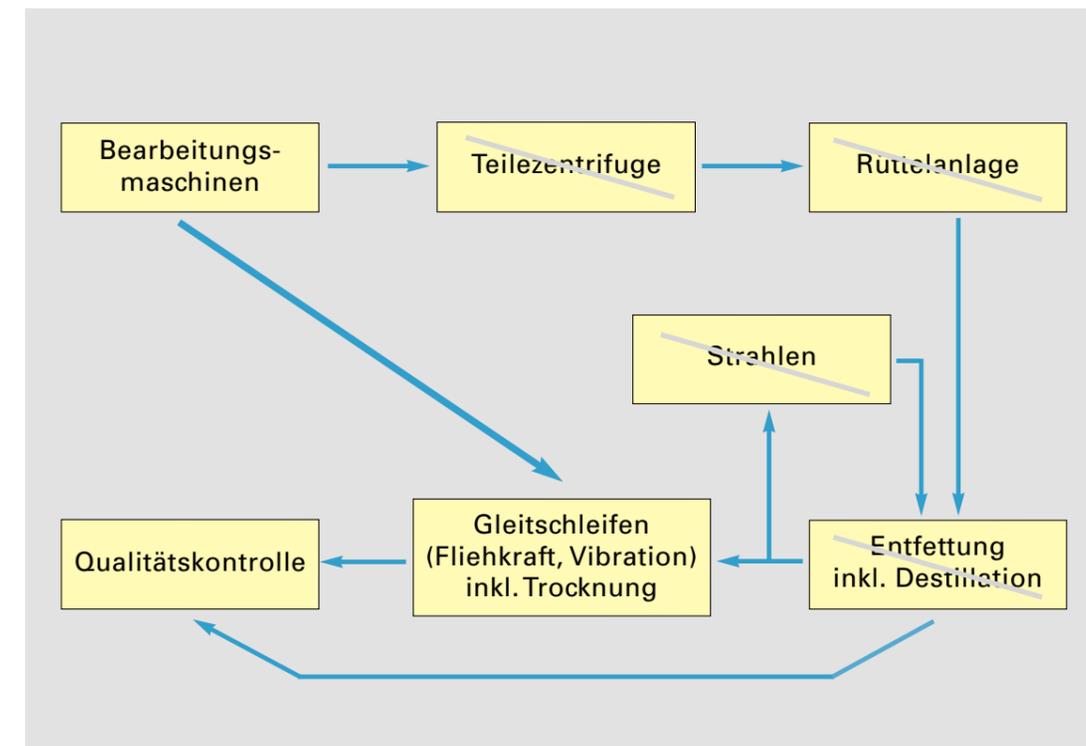


Abb.8:  
Vereinfachung des  
Fertigungsablaufs durch  
Trockenbearbeitung  
(Leipold, ABAG-itm)  
Die gestrichelten  
Verfahrensschritte  
können bei  
Trockenbearbeitung  
entfallen.

Kühlschmierstoffe müssen ein sehr vielfältiges Feld aus technologischen Anforderungen sowie Anforderungen des Arbeits- und Umweltschutzes abdecken. Deshalb sind KSS inzwischen hochentwickelte Systeme. Ein alternatives, auf KSS verzichtendes Verfahrenskonzept muss die wesentlichen Aufgabenfelder wie Schmierstoffe, Wärme- und Späneabtransport gleichermaßen abdecken (Abb. 9).

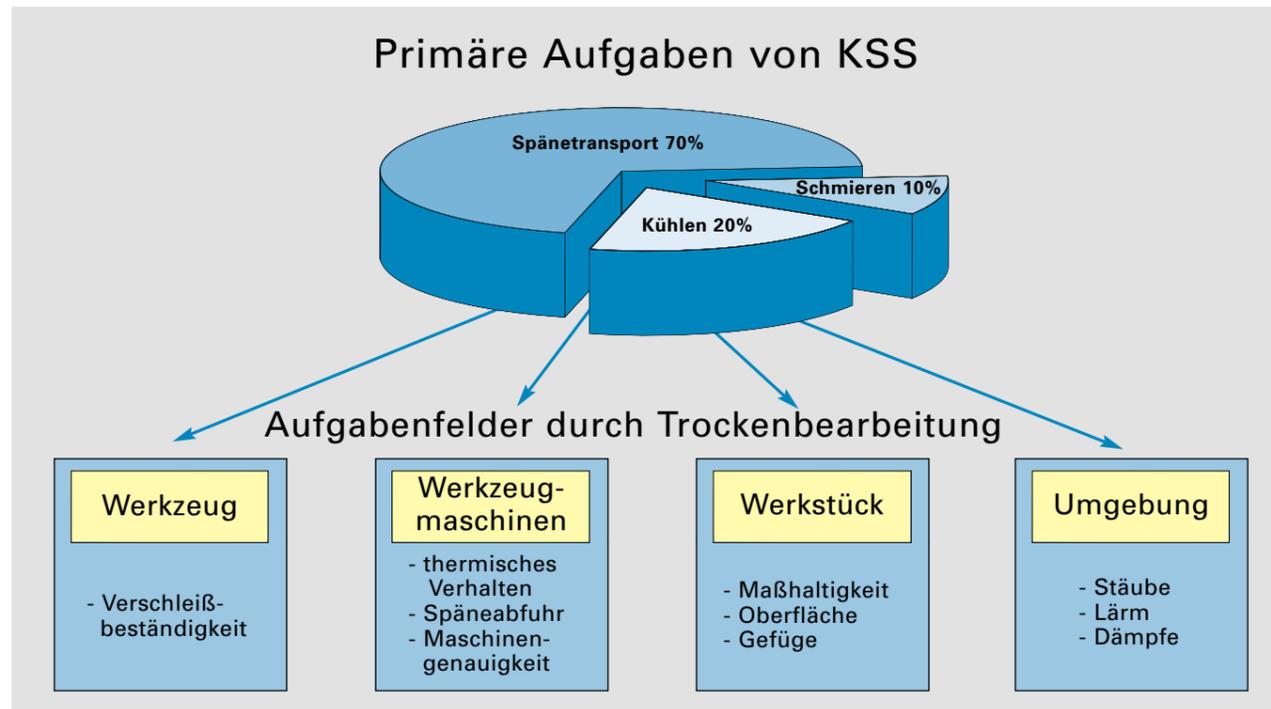


Abb.9: Aufgabenfelder KSS-Trockenbearbeitung (wbk, Karlsruhe)

**Wichtige grundsätzliche Anforderungen für die Realisierung der Trockenbearbeitung sind:**

- Minimiere Zerspan- und Umformenergie (reduzierte Wärmeentstehung),
- Wärmeabfuhr muss gewährleistet sein (hoher Anteil über die Späne),
- gesicherte Spanabfuhr (von der Bearbeitungsstelle und aus der Maschine),
- Werkzeuge und Maschine müssen 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 z.B. bei der Gussbearbeitung hat die Trockenbearbeitung bereits eine lange Tradition. Die Vorteile liegen auf der Hand und die Graphitanteile im Grauguss gewährleisten eine ausreichende Gleitfunktion 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-Schmier-systemen 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 Spektrum ab. Eine Übersicht über bereits mit Trockenbearbeitung realisierte Anwendungen ist in Tabelle 4 zusammengestellt.

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

Tab.4: Übersicht über verfügbare Erfahrungen (wbk Institut für Produktionstechnik der TH Karlsruhe, Technologienetz Trockenbearbeitung, ABAG-itm)

Werkstoff	Aluminium		Messing	Grauguss	Stähle		
	Gusslegierung	Knetlegierung	versch. Leg.	GG20 - GGG70	Hochleg. Stähle, Wälzlagerstahl	Automatenstahl, Vergütungsstahl	Nichtrostende-, VA-Qualitäten
<b>Sägen</b>	MMS	MMS	Trocken	Trocken	MMS	MMS	(MMS)
Beschichtung	TiN	TiN					
<b>Fräsen</b>	MMS	MMS	Trocken/MMS	Trocken	Trocken/MMS	Trocken/MMS	(MMS) <sub>a</sub>
Beschichtung	TiN+ MoS <sub>2</sub>	ohne		TiN	(Ti,Al)N, MoS <sub>2</sub>	TiN	
<b>Wälzfräsen</b>	X	X	X	Trocken	Trocken/MMS	Trocken/MMS	X
Beschichtung				TiN	(Ti,Al)N, MoS <sub>2</sub>	TiN	
<b>Bohren</b>	MMS	MMS	Trocken/MMS	Trocken	MMS	Trocken	(MMS)
Beschichtung	(Ti,Al)N	ohne		TiN	(Ti,Al)N, MoS <sub>2</sub>	TiN	PVD (Ti,Al)N
<b>Tieflochbohren</b>	MMS	X	MMS	MMS	X	MMS	X
Beschichtung	(Ti,Al)N, MoS <sub>2</sub>			TiN		(TiAl)N+Movic	
<b>Gewindeschneiden</b>	MMS	MMS	MMS	MMS	MMS	MMS	X
Beschichtung	TiN			Ti(C,N)	TiN	TiN	
<b>Gewindeformen</b>	MMS	MMS		MMS	MMS	MMS	X
Beschichtung	CrN, WC/C					Ti(C,N)	
<b>Drehen</b>	MMS	MMS	Trocken/MMS	Trocken	MMS	MMS	(MMS)
Beschichtung		TiN		TiN	TiN	TiN	
<b>Räumen</b>	X	MMS	MMS	Trocken/MMS	Trocken/MMS	Trocken/MMS	X
Beschichtung				TiN	Ti(C,N)-Multilayer	Ti(C,N)-Multilayer	
<b>Reiben</b>	MMS	MMS	X	MMS	(MMS)	MMS	X
Beschichtung	(Ti,Al)N, PKD	ohne		PKD-Leiste		PKD-Leiste	

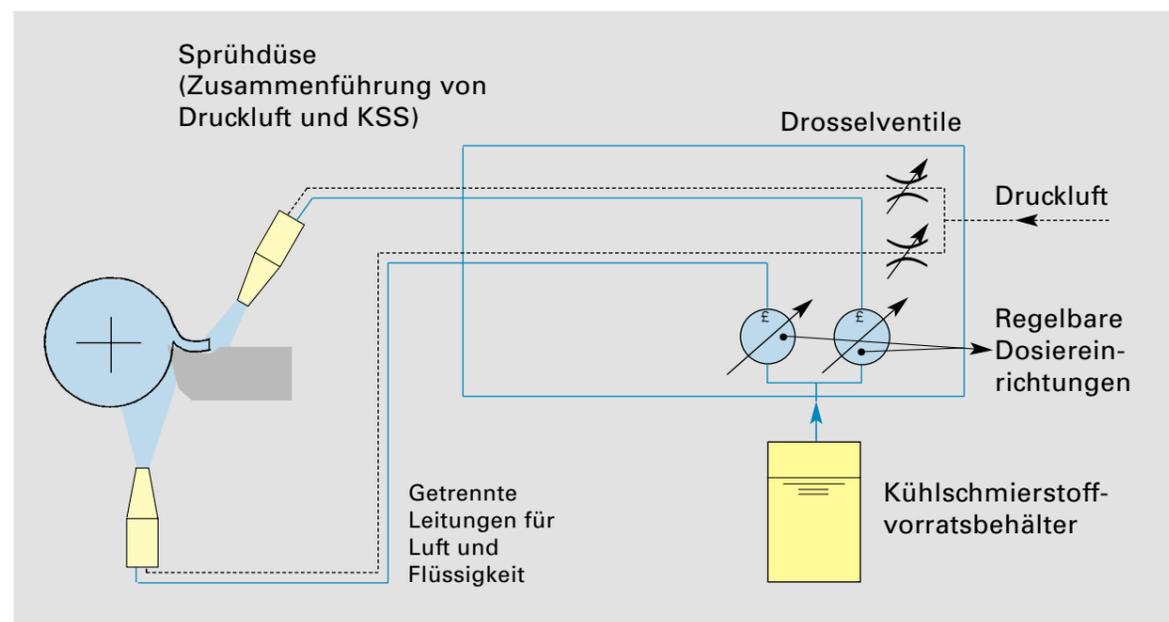
Die Entwicklungsaktivitäten haben sich auf Aluminium, Stähle und Grauguss konzentriert. Parallel wurden zur Trockenbearbeitung geeignete Werkzeuge weiterentwickelt ebenso wie die MMS, mit deren Unterstützung bei vielen Anwendungen eine hohe Wirtschaftlichkeit erreicht werden konnte. Zum MMS-Einsatz, zu Werkzeugen, Werkzeugmaschinen sowie Umweltaspekten der Trockenbearbeitung sind nachfolgend für den Anwender wesentliche Aspekte zusammengefasst.

### Minimalmengen-Schmierung (MMS)

Unter MMS versteht man das Aufbringen eines dünnen Schmierfilms direkt auf den Wirkungsbereich Werkzeug/Werkstück (Bearbeitungsstelle). Ziel ist die Reduzierung der Reibwärme bei der Zerspanung. Die Kühlung hat nur eine untergeordnete Bedeutung. Der Auftrag erfolgt meist mittels Sprühtechnik entweder von außen auf die Bearbeitungsstelle (**äußere Zuführung**) oder über die Werkzeugspindel durch Kanäle im Werkzeug (z.B. bei Bohrern) bis zur Werkzeugschneide (**innere Zuführung**). Für beide Anwendungsbereiche stehen **geeignete Auftragssysteme** mehrerer Hersteller zur Verfügung. Eine Liste kann bei der ABAG-itm kostenlos angefordert werden.

Im Gegensatz zur konventionellen Nassbearbeitung ist die MMS eine Verlustschmierung. Um die geringen Mengen im Bereich von üblicherweise 5 bis 50 ml/h exakt und bedarfsgerecht dosiert auf die Wirkstelle aufbringen zu können werden verschiedene Ausführungen der Sprühtechnik eingesetzt. Mit Luft als Träger- und Führungsmedium (zur Reduzierung der Overspray-Verluste) werden feine Schmierstofftröpfchen auf die Bearbeitungsstelle aufgebracht. Bei den Auftragssystemen unterscheidet man zwischen der 1-Kanal- und der 2-Kanal-Technik. Der Dosiertechnik (möglichst getrennt für Luft und Schmierstoff) kommt dabei eine wesentliche Bedeutung zu. Bei der 1-Kanal-Technik wird das Gemisch am Gerät erzeugt und über einen Schlauch zur Düse geleitet. Bei der 2-Kanal-Technik erfolgt die Medienführung über zwei getrennte Leitungen bis zur Düse, mit dem Vorteil einer exakteren Dosierung ohne Entmischungseffekte. Das Prinzip eines MMS-Systems in 2-Kanal-Technik ist in Abb. 10 schematisch dargestellt.

Abb.10:  
Prinzipskizze MMS-System (Institut für Werkzeugmaschinen, Universität Stuttgart)



Systeme, die sehr feine Tröpfchen erzeugen ( $1 - 5 \mu\text{m}$ ) sind zur Vermeidung von Schmierstoffablagerungen, insbesondere in der Spindel und im Werkzeug, besser für die innere Zuführung geeignet. Für die äußere MMS-Zuführung eignen sich Systeme, die etwas größere Tröpfchen ( $5 - 20 \mu\text{m}$ ) erzeugen, da diese ausreichend kinetische Energie zur Durchdringung des Luftstroms bis zur Bearbeitungsstelle mitbringen. Für die diskontinuierliche Beaufschlagung, z.B. bei Stanz- und Biegeprozessen eignen sich auch sogenannte Airless-Sprühsysteme, bei denen kleinste Tropfen auf die Bearbeitungsstelle „gespuckt“ werden.



Abb.11:  
MMS-Auftragssystem (Foto: Fa. Link, Karlsruhe)

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

- der Dosiertechnik (getrennte und reproduzierbare 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 (möglichst 5 bis 10 cm zur Beaufschlagungsstelle) bedarf es 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 des Schmierstoffs muss auf das Auftragsgerät und die jeweilige Einstellung abgestimmt sein.

### Schmierstoffe für MMS-Anwendungen

Für MMS-Anwendungen **geeignete Schmierstoffe sind in der Regel auf synthetischer oder nativer (pflanzlicher) Basis hergestellt (Ester, Fettalkohole)** und weisen sehr gute Schmiereigenschaften auf. Gegenüber konventionellen KSS ist keine oder nur eine geringe Additivierung erforderlich, d.h. sie sind damit auch weniger gesundheitsgefährdend. Verschiedene Untersuchungen (insbesondere der Berufsgenossenschaften) haben zudem gezeigt, dass die Arbeitsplatzbelastung bei MMS deutlich geringer ist als bei konventioneller Nassbearbeitung. Eine Übersicht über die Eignung verschiedener Schmierstoff-Typen gibt Tabelle 5.

Stoffgruppe	Schmiereigenschaften	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	+++	--	Für den MMS-Einsatz nicht zu empfehlen

Tab.5: Beurteilung von Schmierstoffen für den MMS-Einsatz (ABAG-itm, SMBG)

**Produkte auf Mineralölbasis oder Emulsionen sollten für MMS-Anwendungen wegen möglicher gesundheitsschädlicher Emissionen nicht verwendet werden.**

### Für Trockenbearbeitung/MMS geeignete Werkzeuge

Trockenbearbeitung und MMS basieren einerseits auf einer reduzierten Wärmeentstehung und andererseits auf einer schnellen Wärmeabfuhr über die Späne. Geeignete Werkzeuge sind auf diese Anforderungen hin optimiert, sowohl bezüglich der Schneidstoffe als auch bezüglich der Werkzeuggeometrie. Für eine effiziente Bearbeitung bedeutet dies in der Praxis häufig, dass angepasste oder neue Werkzeuge eingesetzt werden sollten. Die Werkzeughersteller verfügen diesbezüglich inzwischen über ein sehr fundiertes Know-how. Mit hochwertigen Werkzeugen (z.B. feinkörnige HM-Sorten, Cermets, verschiedene Beschichtungen) konnten im Zusammenhang mit optimierten Bearbeitungsparametern (höhere Schnittgeschwindigkeiten oder höhere Vorschübe) teilweise erheblich verkürzte Bearbeitungszeiten, bei gleichbleibenden oder höheren Standzeiten realisiert werden.

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

### Anforderungen an eine trockenbearbeitungsgerechte Werkzeugmaschine

Die meisten Werkzeugmaschinen (insbesondere der bestehende Werkzeugmaschinenpark) sind auf Nassbearbeitung ausgelegt. Dies betrifft das Fortspülen der Späne von der Bearbeitungsstelle, von Spanneinrichtungen und Führungen sowie aus dem Bearbeitungsraum, die Kühlung und die Schmierung, teilweise nicht nur der Bearbeitungsstelle sondern auch von Führungen, Abstreifern und Lagern. Bei einer Werkzeugmaschine mit der trocken gearbeitet werden soll, müssen daher insbesondere folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Späneabfuhr muss sichergestellt sein: schräge Seitenwände, keine waagrechten Flächen (Gefahr der Spänenesterbildung), freie Spanneinrichtungen.
- Lager, Abstreifer, Führungen und Späneförderer im Bearbeitungsraum müssen auch trocken funktionsfähig bleiben.
- Der Wärmehaushalt der Maschine muss auch ohne KSS stabil bleiben (ggf. Temperaturkompensation).

Viele Werkzeugmaschinenhersteller können inzwischen trockenbearbeitungsgerechte Maschinen anbieten. **In jedem Fall sollten die Anforderungen der Trockenbearbeitung bei Neuinvestitionen mit ins Pflichtenheft aufgenommen werden.**

### Umweltaspekte der Trockenbearbeitung/MMS

Auf die Umweltaspekte bei der Metallbearbeitung wurde in Abschnitt 2 bereits näher eingegangen. Gegenüber der Nassbearbeitung weisen Trockenbearbeitung/MMS erhebliche Vorteile auf. Auf die wesentlichen Aspekte wird nachfolgend noch einmal eingegangen.

**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 ggf. auf dem Werkstück befindliche Restanhaftungen, z.B. Korrosionsschutzmittel sowie Schmiermittelanteile aus dem MMS-Einsatz 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 abgetragen werden. Bei stärkerem Anfall sollten diese über eine Maschinenraumabsaugung abgezogen und über Filter separiert werden. Bei der Aluminiumbearbeitung mit sehr 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 geräuschkämpfenden 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, ggf. über geeignete Filter, ins Freie abgeleitet werden.

Im März 2001 wurde vom Informationszentrum für betrieblichen Umweltschutz (IBU) des Landesgewerbeamts Baden-Württemberg das Fachseminar „Erfolgreiche Minimalmengenschmierung in der Produktion“ mit ca. 200 Teilnehmern durchgeführt. Von den Teilnehmern und auch den beteiligten Verbänden wurde dabei der Bedarf für weitergehende Unterstützung, insbesondere für kleine und mittelständische Betriebe (KMU), bei der Einführung der Trockenbearbeitung in die eigene Produktion geäußert. Im September 2001 wurde auf Initiative des IBU der Arbeitskreis Trockenbearbeitung ins Leben gerufen. Vertreter von 17 Unternehmen und drei Wirtschaftsverbänden nahmen teil (Mitgliederliste im Anhang).

**Ziel des Arbeitskreises** war es, die Teilnehmer zu unterstützen, zum einen bei der Beurteilung, ob und wie weit die Trockenbearbeitung in der eigenen Produktion überhaupt in Frage kommt, und zum anderen, für die weiterhin interessierten Betriebe, bei der praktischen Einführung. Während neun Sitzungen verteilt über drei Jahre wurde Know-how aufgebaut (Informationsdefizite abgebaut), das Gespräch mit fortschrittlichen Anwendern vor Ort gesucht und Erfahrungen unter den Teilnehmern ausgetauscht. Fünf der neun Sitzungen fanden bei Anwendern oder Dienstleistern (Werkzeughersteller, MMS-Gerätehersteller) statt und waren mit Betriebsbesichtigungen und Erfahrungsaustausch verbunden.

Der Arbeitskreis wurde vom IBU organisiert, die fachliche Leitung hatte die ABAG-itm GmbH, Fellbach. Das jeweilige Programm wurde an den Themenwünschen der Mitglieder ausgerichtet. Zur Ausrichtung des Informationsangebots und der Themenschwerpunkte wurde bei der ersten Sitzung mit einem Fragebogen der Informationsstand und die Interessenslage der Mitglieder erhoben. Ergänzend zu bereits vorhandenen Erfahrungen wurde auch nach den Prozessen und den bearbeiteten Werkstoffgruppen gefragt. Als Ausgangslage ergab sich das in Tabelle 6 zusammengefasste Bild.

Vorhandene Erfahrungen		Umsetzungshemmnisse	
Allgemein:		Fehlende Informationen	25 %
keine	15 %	Innerbetriebliche Widerstände	25 %
versuchsweise	40 %	Fehlende prakt. Erfahrungen/ Produktionssicherheit	50 %
einzelne Prozesse	40 %	Fehlende technische Angebote	10 %
Serienanwendungen	20 %	Unklare Vorteile	25 %
Bezogen auf Werkstoffe:		Kosten	10 %
Guss, Stähle	60 %	Sonstige (z.B. Spanabfuhr, Arbeitsschutz, Emissionen)	10 %
NE-Metalle	40 %		
Bezogen auf Prozesse:			
Sägen	15 %		
Bohren/Gew.	20 %		
Fräsen	40 %		
Drehen	15 %		
Sonstige	10 %		

Tab.6:  
Ausgangslage der  
Arbeitskreis-Mitglieder

Zu Beginn bot sich demnach ein sehr differenziertes Bild. Die meisten Mitglieder hatten zwar erste Erfahrungen aus Trockenbearbeitungs-Versuchen aber mit sehr unterschiedlichen Ergebnissen. Die praktische Umsetzung war aus verschiedenen Gründen (vgl. Umsetzungshemmnisse) meist nicht realisiert worden.

Die **Vorgehensweise zur Umsetzung** erfolgte in zwei Teilschritten:

- A) Potenzialabschätzung mit Klärung der Frage: Ist die Einführung der Trockenbearbeitung für meinen Betrieb überhaupt interessant?
  - Erfassung des Ist-Zustands (in der Regel Nassbearbeitung) mit Abschätzung des Aufwands und aller Kosten, die derzeit durch den KSS-Einsatz entstehen.
  - Abschätzung der Vorteile, die bei Realisierung der Trockenbearbeitung erschließbar wären. Individuelle Entscheidung, ob die Vorteile ausreichend motivieren die Trockenbearbeitung einzuführen.
- B) Vorgehensweise zur Einführung der Trockenbearbeitung in Produktionsprozesse:
  - Vermittlung von Grundlageninformationen zur Trockenbearbeitung.
  - Betriebsspezifische Auswahl von Prozessen und Maschinen, die mit möglichst geringem Anfangsaufwand auf Trockenbearbeitung umzustellen sind.
  - Vertiefende Betrachtung unterschiedlicher Teilaspekte der Trockenbearbeitung (z.B. MMS, geeignete Schmierstoffe, Absaugung, Anforderungen an Werkzeugmaschinen und Werkzeuge).
  - Aufbau innerbetrieblichen Know-hows.
  - Erfahrungsaustausch innerhalb des Arbeitskreises.
  - Planung zur sukzessiven Umstellung weiterer Produktionsprozesse.

**Schwerpunktt Themen und Anwendungsbeispiele**

Mit Fachbeiträgen von Fachleuten sowie Vorort-Besichtigungen exemplarischer Anwendungen wurde zu verschiedenen Fragestellungen der AK-Mitglieder informiert. Bei den folgenden Themen bestand verstärkter Informationsbedarf, so dass sie als Schwerpunktt Themen intensiver behandelt und diskutiert wurden:

- Vorgehensweise zur Erfassung von Optimierungspotenzialen und von Ansatzpunkten zum innerbetrieblichen Einsatz.
- Anforderungen an eine trockenbearbeitungsgerechte Werkzeugmaschine, Angebote der Maschinenhersteller.
- Technologienetz Trockenbearbeitung: F+E-Ergebnisse und Unterstützungsangebote der Hochschulen.
- Minimalmengenschmierung (MMS): Funktionsprinzip, Einsatzbereiche, Anwendungsbeispiele, Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.
- Aspekte der Arbeitssicherheit bei MMS-Anwendungen: Geeignete Schmierstoffe, Emissionen, Mess- und Versuchsergebnisse der Berufsgenossenschaften.
- Umsetzungserfahrungen bei Pilotbetrieben mit Vorort-Besichtigung.
- Optimierte Werkzeuge für die Trockenbearbeitung: Fachbeiträge verschiedener Werkzeughersteller.
- Überwindung innerbetrieblicher Umsetzungshemmnisse, Umgang mit Bedenkenträgern.
- Zusammenstellung und Diskussion von verfügbaren Erfahrungen zu bestimmten Bearbeitungsaufgaben z.B. Tieflochbohren, Bearbeitung von nichtrostenden Werkstoffen.

Mit fortschreitendem Erkenntnisgewinn der Mitglieder wurden ergänzend Erfahrungen (positive sowie nicht erfolgreiche) aus der innerbetrieblichen Umsetzung präsentiert und diskutiert. Dieser Erfahrungsaustausch hat alle Teilnehmer bei der effektiven Umsetzung unterstützt und geholfen aufwändige Versuche zu minimieren. Einige Umsetzungsbeispiele sind nachfolgend dargestellt.

**Einsatz für Druckgusswerkzeug und Gabel einer Rennsport-Radaufhängung**

Bearbeitungsverfahren: 5 Achs-Fräsen, Bohren  
 Werkstoffe: Werkzeugstahl 1.2343 und Vergütungsstahl 1.7218  
 Werkzeuge: HM (Wendeschneidplatten und Vollhartmetall-Schaftfräser)  
 Ziele: Erhöhung der Werkzeugstandzeit, Verkürzung der Fertigungszeit  
 Prozess und Foto: Fa. Jesinghaus, Mosbach



**Trockenbearbeitung von Kurbel-, Nockenwellen und Pleuel**

Bearbeitungsverfahren: Fräsen, Drehen, Bohren, Reiben, Gewinden  
 Eingesetzte Schneidstoffe: HSS, HM  
 Ziele: Reduzierung KSS-bedingter Kosten, Vermeidung von Umweltauflagen  
 Prozess und Foto: Fa. DaimlerChrysler, Mannheim



**Trockenbearbeitung von Synchronringen mit vorhandenen Werkzeugmaschinen**

Werkstoffe: versch. Messingsorten  
 Eingesetzter Schneidstoff: HM  
 Ziele: Einsparung Schneidöl, besserer Preis für trockene MS-Späne, Verbesserung der Taktzeit  
 Prozess und Foto: Fa. Getrag, Oberstenfeld



**Hartdrehen von kurzen Innenbohrungen**

Werkstoffe: 40 Cr Ni Mo6 / 9 S Mn 28 K  
 Eingesetzter Schneidstoff: CBN  
 Ziel: Komplette Trockenbearbeitung der Innendurchmesser von Druckhülsen und Zahnradbohrungen  
 Prozess und Foto: Fa. Atlas Copco, Winnenden



**Gehäuse eines Drucksensors**

Bearbeitungsverfahren: Gewindefurchen  
 Werkstoff: Rost- und säurebeständiger Stahl 1.4301  
 Werkzeug: HSS, TiN-beschichtet  
 Ziel: Erhöhung der Prozesssicherheit bei der Herstellung von Sacklochgewinden (Vermeiden von Werkzeugbruch)  
 Prozess und Foto: Fa. Jesinghaus, Mosbach



Tab.7: Anwendungsbeispiele zur Trockenbearbeitung aus dem Arbeitskreis

Der Arbeitskreis hatte wie geplant im Februar 2004 seine abschließende Sitzung. Als ein Ergebnis konnte festgehalten werden, dass sich die Mitglieder im Rahmen des Arbeitskreises unter neutraler fachlicher Leitung, durch Diskussionen mit Gastreferenten und durch den internen Erfahrungsaustausch die erforderlichen Informationen wesentlich effektiver beschaffen und so die Entscheidungen zur Umsetzung mit deutlich geringerem Aufwand realisieren konnten. Bei einer abschließenden Befragung bezüglich der Einsatzerfahrungen mit der Trockenbearbeitung/MMS und jetzt bestehender Umsetzungshemmnisse ergab sich das in Tabelle 8 zusammengestellte Bild.

Erfahrungen		Bestehende Umsetzungshemmnisse	
Allgemein:		Fehlende Informationen	0 %
keine	0 %	Fehlende prakt. Erfahrungen/Produktionssicherheit	20 %
versuchsweise	20 %	Innerbetriebliche Widerstände	15 %
einzelne Prozesse	70 %	Unklare Vorteile	10 %
Serienanwendungen	50 %	Zu kleine Losgrößen	25 %
		Oft wechselnde Werkstoffe	15 %
Bezogen auf Werkstoffe:		Für Trockenbearbeitung wenig geeignete Werkstoffe (z. B. VA-Qualitäten)	20 %
Guss, Stähle	80 %	Geringe Werkzeugstandzeit	15 %
NE-Metalle	50 %	Hoher Zeitaufwand für die Erprobung	15 %
Bezogen auf Prozesse:		Ungenügende Oberflächenqualität	5 %
Sägen	15 %	Verschmutzungsgrad der Maschinen	5 %
Bohren/Gew.	40 %		
Fräsen	60 %		
Drehen	50 %		
Sonstige	50 %		

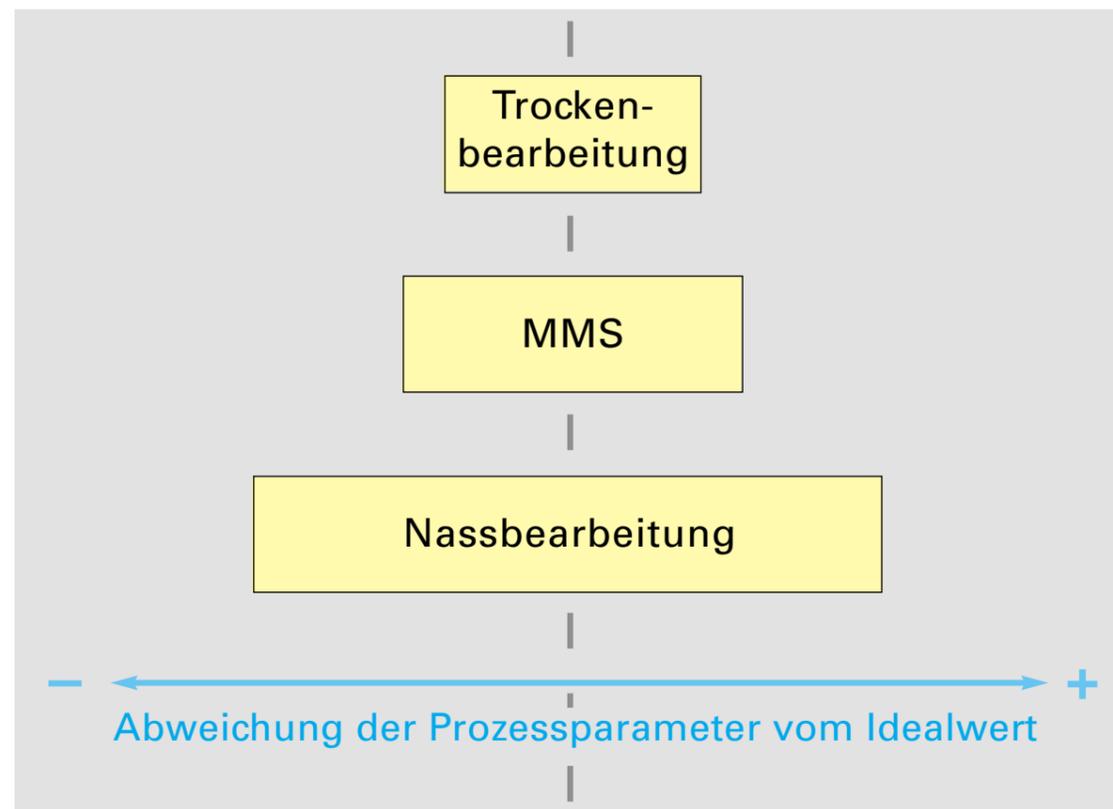
Tab.8: Erfahrungen und Umsetzungshemmnisse der AK-Mitglieder nach drei Jahren

## 6 Vorgehensweise zur betrieblichen Einführung der Trockenbearbeitung

Alle Mitglieder hatten zum Abschluss klare Vorstellungen, welche Bearbeitungsprozesse derzeit trocken realisierbar sind, sei es mit bestehenden Maschinen oder erst bei Neuinvestitionen, sowie zur Vorgehensweise zur weiteren betrieblichen Umstellung. Die verbliebenen Umsetzungshemmnisse waren gegenüber den zu Beginn angeführten wesentlich konkreter, z.B. zu kleine Losgrößen, oft wechselnde Werkstoffe, für Trockenbearbeitung wenig geeignete Werkstoffe (z.B. Edelstahl, Titan), geringe Werkzeugstandzeiten oder zu hoher Aufwand für die Erprobung/Maschinenumstellung (Realisierung erst bei Neuinvest).

**Als Fazit der Arbeiten des Arbeitskreises können folgende Punkte herausgestellt werden:**

- Die Potenziale zur Steigerung der Effizienz bei der Metallbearbeitung und der gleichzeitigen Verbesserung der betrieblichen Umweltsituation sind hoch.
- Es ist inzwischen ein breites Spektrum an Einsatzerfahrungen und F+E-Ergebnissen verfügbar.
- Die Trockenbearbeitung/MMS ist (noch) keine Allround-Technologie.
- Der Einsatz erfordert in jedem Fall den Aufbau innerbetrieblichen Know-hows und prozessspezifische Versuche.
- Das Toleranzfeld zum Erhalt der Prozesssicherheit ist bei der Trockenbearbeitung deutlich schmaler als bei konventioneller Nassbearbeitung (s. Abb. 12).



Tab.12:  
Prozesssicherheit  
verschiedener  
Metallbearbeitungs-  
technologien  
(ABAG-itm)

In jedem Betrieb, der Interesse an der Einführung der Trockenbearbeitung hat stellt sich die Frage, wie er die Umsetzung in die eigene 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 Vorteile lassen sich mit der Trockenbearbeitung realisieren?

Die meisten dieser Fragen wurden in den vorausgegangenen Kapiteln angesprochen, können aber im Rahmen einer Broschüre nie vollständig beantwortet werden. Die nachfolgende Vorgehensweise soll als Leitfaden zur betrieblichen Einführung der Trockenbearbeitung dienen.

### 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 Kühlschmierstoffen gearbeitet oder wird bereits bei einzelnen Prozessen trocken gearbeitet?

Stellen Sie für die einzelnen Bereiche die eingesetzten KSS und den mit dem KSS-Einsatz verbundene Aufwand zusammen. Die wesentlichen Fragen und Aspekte hierzu finden Sie in Kapitel 2, Tab. 1. Dabei kommt es weniger auf Details an. Sie sollten vorrangig einen Überblick über alle mit dem KSS-Einsatz verbundenen Aspekte und Aufwendungen gewinnen. Gerade die Kostenerfassung gestaltet sich in der Praxis meist schwierig. Versuchen Sie daher 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 der Umstellung auf Trockenbearbeitung zusammen

Welche der im Schritt 1 zusammengestellten Positionen könnten bei Realisierung der Trockenbearbeitung ganz oder teilweise wegfallen? Kapitel 3 enthält hierzu weitere Informationen und Hilfestellungen. 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 und der MMS sowie der Prozesse in denen bereits Einsatzerfahrungen vorliegen ist in Kapitel 4 zusammengestellt. Je nach Bedarf und Informationsstand können Sie sich (und auch die betroffenen Mitarbeiter) über verfügbare Literatur oder Beratungsstellen weitergehende Informationen beschaffen. Eine Literaturliste und regionale Ansprechpartner sind im Anhang zusammengestellt.

**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 z.B. den vier Bearbeitungsverfahren, die aus Ihrer jetzigen Kenntnis am einfachsten auf Trockenbearbeitung umzustellen sind und prüfen Sie für diese Verfahren die folgenden Aspekte:

- Zu Bearbeitungsprozess und Werkstoff sollten bereits möglichst breite Anwendungserfahrungen verfügbar sein (vgl. Kap.4, Tab. 4).
- Die Werkzeugmaschine 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 und ggf. MMS-Anwendung sollten Lieferanten/Partner verfügbar sein, die Sie mit Erfahrungen und Rat unterstützen können.

Bewerten Sie die betrachteten Prozesse entsprechend deren 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 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 eigenen prozessspezifischen Know-hows. Neben der grundsätzlichen Realisierbarkeit stecken in der Prozessoptimierung meist erhebliche Potenziale zur Leistungssteigerung und Vereinfachung der Prozessabläufe (wie am Beispiel in Abb. 8 dargestellt). Betrauen Sie mit der Prozessoptimierung besonders interessierte Mitarbeiter, die aber auch über einen Freiraum für die Weiterentwicklung der Trockenbearbeitung in weitere Produktionsbereiche verfügen müssen.

Die Umstellung auf Trockenbearbeitung bedarf in jedem Fall einen längeren Zeithorizont. 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.

**Verzeichnis weiterführender Literatur****Trockenbearbeitung: Drehen, Fräsen, Bohren**

VDI-Tagungsbericht Dortmund 29./30. März 2000, 245 S.  
Bezug: VDI-Verlag, Postf. 101054, 40001 Düsseldorf, Tel. 0211/6188-445  
als VDI-Bericht Nr. 1532; Preis: 58,-Euro

**Praxis der Trockenbearbeitung**

VDI-Tagungsbericht Karlsruhe 8./9. März 1999, 250 S.  
Bezug: VDI-Verlag, Postf. 101054, 40001 Düsseldorf, Tel. 0211/6188-445  
als VDI-Bericht Nr. 1458; Preis: 58,-Euro

**Trockenbearbeitung prismatischer Teile**

- Bericht über die Definitionsphase eines Verbundprojekts im Rahmenkonzept „Produktion 2000“ des BMBF, Bartl, R. Dr.-Ing. (Hrsg.), Jan. 1996, 316 S.; Preis: ca. 30,- Euro  
Bezug: Forschungszentrum Karlsruhe, ISSN 0948-1427
- Abschlußbericht  
Vortragsmanuskripte der Projektpartner anlässlich der Tagung in Aachen 1998  
Bartl, R. Dr.-Ing. (Hrsg.), Jan. 1998  
Bezug: VDI-Verlag, Postf. 101054, 40001 Düsseldorf, Tel. 0211/6188-445  
als VDI-Bericht Nr. 1375; Preis: ca. 70,-Euro

**Auf dem Weg zur Trockenbearbeitung**

Herausforderung an die Fertigungstechnik, VDI-Tagungsbericht Düsseldorf 13.2.1996, 234 S.; Preis: ca. 60,- Euro  
Bezug: VDI-Verlag, Postf. 101054, 40001 Düsseldorf, Tel. 0211/6188-445  
VDI-Bericht 1240, ISBN 3-18-091240-5

**Umstellung eines Fertigungsbereichs auf Trockenbearbeitung**

Projektbericht zur Phase 1 eines vom Umweltministerium Baden-Württemberg geförderten Modellprojekts, Oktober 1998, 121 S.; Preis: 15,- Euro  
Bezug: ABAG-itm, Fellbach, www.abag-itm.de

**Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung**

Einsatz in der spanenden Fertigung  
Weinert, Klaus, Prof.; 1998, 230 S.; Preis ca. 80,- Euro  
Springer Verlag, ISBN 3 5 40 64 79 37

**Entwicklung der Trockenbearbeitung für Schmiedeteile**

AiF-Förderprojekt Nr. 11417  
Gerschwiler, K., Dr.-Ing., WZL, Aachen; Aug. 2000, 130 S.; Preis ca. 80,- Euro  
Bezug: Industrieverband Deutscher Schmieden, Düsseldorf

**Gefährdungsbeurteilung bei der Trockenbearbeitung metallischer Werkstoffe**

Verbundprojekt des Fachausschuss Maschinenbau, Fertigungssysteme, Stahlbau  
April 2003; 74 S.; kostenlos (oder unter www.smbg.de Kat. Gesundheitsschutz)  
Bezug: SMBG Süddeutsche Metallberufsgenossenschaft, Mainz

#### **Adressen für weitere Informationen und Beratung**

##### **Technologienetz Trockenbearbeitung**

Verbund von Forschungseinrichtungen und Systemanbietern  
Kontakt: wbk Institut für Produktionstechnik der TH Karlsruhe  
Kaiserstraße 12, 76128 Karlsruhe  
Herr Dipl.-Ing. Martin Dyck, Tel. 0721/608-3044;  
martin.dyck@mach.uni-karlsruhe.de; www.trockenbearbeitung.de

##### **Arbeitskreis „Trockenbearbeitung in der industriellen Anwendung“ - TroiA**

Arbeitskreis von Systemherstellern zur Lösung von Aufgabenstellungen der Trockenbearbeitung  
Informationen und Kontaktaufnahme über  
www.trockenbearbeitung.de oder das wbk (s.o.)

##### **SMBG Süddeutsche Metall-Berufsgenossenschaft**

Bei Fragestellungen zum Arbeits- und Gesundheitsschutz  
Wilhelm-Theodor-Röhmheld-Straße 15, 55130 Mainz  
Herr Dipl.-Ing. Harald Sefrin, Tel. 06131/802-392; harald-sefrin@smbg.de  
www.smbg.de

##### **Handwerksverband Metallbau und Feinwerktechnik Baden-Württemberg**

Schönestraße 35/1; 70372 Stuttgart  
Herr Dipl.-Ing. (FH) Bernhard Pfeffer, Tel. 0711/954729-29; b.pfeffer@metall-verband.de  
www.metall-verband.de

##### **Südwestmetall**

Verband der Metall- und Elektroindustrie Südwest e. V.  
Lerchenstraße 6; 79104 Freiburg  
Herr Dr. Ulrich Stahl, Tel. 0761/38669-37, stahl@suedwestmetall.de  
www.suedwestmetall.de

##### **ABAG-itm**

Gesellschaft für innovative Technologie- und Managementberatung mbH  
Stauerstraße 15, 70736 Fellbach  
Herr Dipl.-Ing. Hermann Kissler, Tel. 0711/951911-10; kissler@abag-itm.de  
www.abag-itm.de

#### **Mitglieder des Arbeitskreises Trockenbearbeitung**

Atlas Copco Electric Tools GmbH, Winnenden

BEW Umformtechnik GmbH, Rosengarten

Brueninghaus Hydromatik GmbH Bosch Rexroth AG, Horb

DaimlerChrysler AG, Mannheim

FAG Industrial Bearings AG, Schweinfurt

GETRAG SynchronTechnik GmbH, Oberstenfeld

Handwerksverband Metallbau und Feinwerktechnik  
Baden-Württemberg, Stuttgart

Henninger GmbH & Co. KG, Straubenhardt

JEL Präzisionswerkzeuge Joh.+ Ernst Link GmbH + Co. KG, Stuttgart

Jesinghaus & Co. Maschinenbau GmbH, Mosbach

Kelch GmbH + Co. Werkzeugmaschinenfabrik, Schorndorf

Mafell AG, Oberndorf

MTU Friedrichshafen GmbH, Friedrichshafen

Robert Bosch GmbH, Bühl

Spraying Systems Deutschland GmbH, Schorndorf

STAMA Maschinenfabrik GmbH, Schlierbach

Südwestmetall – Verband der Metall- und Elektroindustrie Baden-Württemberg e.V., Freiburg

VDMA Landesverband Baden-Württemberg, Stuttgart

Verzahnungstechnik Mädler GmbH, Stuttgart

Wohlhaupter GmbH Präzisionswerkzeuge, Frickenhausen