

# Absaugen und Abscheiden von Kühlschmierstoffemissionen an geschlossenen Werkzeugmaschinen

## Einführung

W. Pfeiffer

**Zusammenfassung** Kühlschmierstoffe (KSS) werden heute im Wesentlichen in Werkzeugmaschinen eingesetzt. Dabei können gesundheitsschädliche Emissionen entstehen, deren Begrenzung ein umfangreiches Maßnahmenpaket erfordert. Neben der Kontrolle, Wartung und Pflege der KSS sind technische Schutzmaßnahmen, wie die Erfassung und Abscheidung der Emissionen sowie eine effektive Raumlüftung, erforderlich. Dieser Beitrag beschreibt grundsätzliche Probleme bei der Erfassung und Abscheidung von KSS-Emissionen und zeigt Möglichkeiten zur Verbesserung auf. Des Weiteren wird über ein Projekt berichtet, in dessen Rahmen sowohl experimentelle Untersuchungen an Werkzeugmaschinen als auch numerische Strömungssimulationen durchgeführt werden. Die Ergebnisse liefern Hinweise für die Auslegung und Anordnung von Erfassungseinrichtungen an Werkzeugmaschinen und deren Optimierung.

## Exhaust and separation of metal-working fluids in closed machine tools – Introduction

**Abstract** Metal-working fluids (MWFs) today are mostly used in machine tools. Their use can cause health-damaging emissions to arise that require a comprehensive package of measures to restrict their escape. Along with inspections, maintenance and care of the MWFs, this also requires technical protection measures, such as capturing and separating the emissions and implementing effective room air ventilation. This article describes basic problems inherent to capturing and separating MWF emissions and illustrates possible improvements. Further, the article reports on a project that conducts both experimental studies on machine tools and numerical simulations of circulation patterns. The results suggest methods of designing and arranging recording instruments near machine tools and how these can be optimised.

## 1 Einleitung

Kühlschmierstoffe (KSS) enthalten eine Vielzahl von Inhaltsstoffen. Darüber hinaus verändert sich ihre Zusammensetzung während des Gebrauchs u. a. durch die Bildung neuer Stoffe oder den Eintrag weiterer Stoffe von außen. Im Wesentlichen werden KSS in Werkzeugmaschinen eingesetzt; dabei entstehen Emissionen, die zu Atemwegserkrankungen führen können. Unter gewissen Bedingungen können sogar krebserzeugende und toxische Gefahrstoffe freigesetzt werden. Trotz vieler Versuche, sie zu ersetzen, ist der Einsatz von KSS in den meisten Fällen immer noch unverzichtbar.

Zur Begrenzung der Exposition gegenüber KSS-Emissionen ist ein umfangreiches Maßnahmenpaket erforderlich. Neben der Kontrolle, Wartung und Pflege der Kühlschmierstoffe sind umfangreiche technische Schutzmaßnahmen, wie die Erfassung und Abscheidung der Emissionen sowie eine effektive Raumlüftung, unumgänglich.

Dipl.-Ing. Wolfgang Pfeiffer,  
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA,  
Sankt Augustin.

Zahlreiche messtechnische Untersuchungen der Berufsgenossenschaften und des Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz – BGIA haben jedoch ergeben, dass die abgesaugte Luft in den verschiedensten Abscheidesystemen bis auf wenige Ausnahmen nicht ausreichend gereinigt wird und zu hohe Massenströme zurück in den Arbeitsraum gelangen.

Im Rahmen eines aus Forschungsmitteln des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) geförderten Forschungsvorhabens sollen nun Grundlagen geschaffen werden, um Erfassungseinrichtungen für KSS-Emissionen und deren Abscheidung nach höchsten Sicherheitsanforderungen gestalten zu können. Ziel des Projektes ist es, Grundlagen für die optimale Gestaltung von Erfassungseinrichtungen zu erarbeiten, die Abscheideleistung zu verbessern und hinreichenden Schutz vor Bränden und Explosionen zu gewährleisten.

## 2 Rückblick

Eine Befragung von etwa 550 Mitgliedsbetrieben der Metall-Berufsgenossenschaften im Jahr 1991 [1] zeigte, dass ungefähr 50 % der in der Praxis eingesetzten Abscheider elektrostatische Abscheider verschiedenster Bauweisen waren (Bild 1). Filternde Abscheider wiesen einen Anteil von ungefähr 37 %, Nassabscheider einen Anteil von etwa 1,5 % und Zentrifugalabscheider einen Anteil von ca. 6,0 % auf. Es ist davon auszugehen, dass die damaligen Ergebnisse auch die aktuellen Verhältnisse widerspiegeln. Der Abluftstrom lag in den meisten Fällen bei 1 000 bis 2 000 m<sup>3</sup>/h. Die Abscheideleistungen wurden zwar häufig als gut bewertet, diese Bewertungen basierten jedoch hauptsächlich auf persönlichen Einschätzungen, ohne dass sie durch Messungen bestätigt wurden.

Dies wurde zum Anlass genommen, verschiedene Abscheidesysteme in der Praxis messtechnisch zu bewerten. Dabei wurde festgestellt, dass die Abscheidegrade für die Summe aus Dämpfen und Aerosolen teilweise unter 50 % lagen. Im Weiteren führten die Untersuchungen zu der allgemeinen Beurteilung, dass alle Abscheider mit Ausnahme von Nassabscheidern, so genannte Wäscher, keine Dämpfe abscheiden und dass filternde Abscheider und Wäscher ein relativ gutes Abscheideverhalten für Aerosole zeigen.

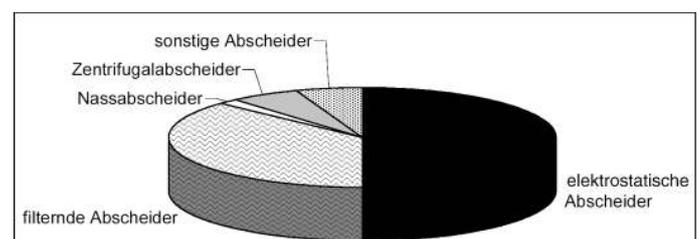


Bild 1. Verteilung der in der Praxis eingesetzten Abscheiderarten.

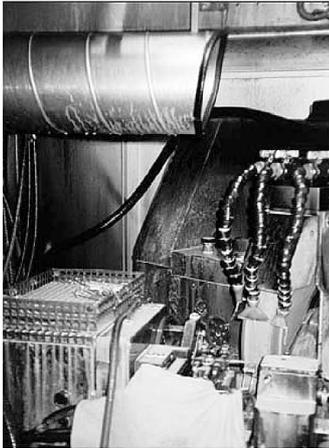


Bild 2. Beispiele für Erfassungseinrichtungen, die zu dicht an der Bearbeitungsstelle angeordnet sind.

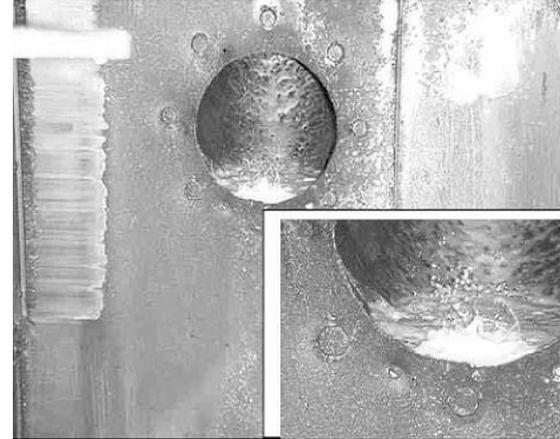


Bild 3. Beispiel für die Anreicherung von KSS-Emissionen an ungünstigen Absaugstellen.

Elektrostatische Abscheider wiesen beim Einsatz von nicht wassergemischtem KSS ebenfalls gute, teilweise auch bessere Abscheidegrade als die anderen Systeme auf. Zentrifugalabscheider dagegen führten zu sehr schlechten Ergebnissen, z. T. sogar mit negativen Abscheidegraden durch die erneute Emission bereits abgeschiedener Substanzen.

Die im BIA-Report 7/96 [2] veröffentlichten Ergebnisse wurden in der Fachwelt eingehend diskutiert. Als Folge wurden im Wettbewerb z. T. praxisfremde Angaben über die Leistungsfähigkeit der auf dem Markt befindlichen Produkte gemacht. Dies verunsicherte die Mitgliedsbetriebe der Berufsgenossenschaften. Ende der 1990er Jahre wurden daher Gespräche mit Anlagenherstellern und -vertreibern gesucht. Zu ersten Sondierungsgesprächen bot sich der Kontakt zu einer beim Verband deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA) etablierten Arbeitsgruppe an, die sich vornehmlich mit Problemen bei der Abscheidung von Schweißrauch beschäftigt. Einige Arbeitsgruppenmitglieder wiesen darüber hinaus auch Anlagen zur Abscheidung von KSS-Emissionen in ihrem Sortiment auf.

Nach mehreren Gesprächen konnte erreicht werden, dass sich eine neue Arbeitsgruppe bildete, die sich speziell mit der Problematik der Abscheidung von KSS-Emissionen beschäftigte. Es zeigte sich sehr schnell, dass Lösungen zur Verbesserung der Abscheidung von KSS-Emissionen im Sinne des Arbeits- und Gesundheitsschutzes nur durch eine enge Zusammenarbeit zwischen Anlagen- und Maschinenherstellern, Betreibern und Berufsgenossenschaften möglich ist. Diese enge Zusammenarbeit findet bis heute statt. Inzwischen wurden mehrere Unterarbeitsgruppen gebildet, die sich intensiver mit speziellen Fragen auseinandersetzen.

### 3 Probleme bei der Erfassung und Abscheidung von Kühlschmierstoffemissionen

Einhausungen an Werkzeugmaschinen sollen zunächst verhindern, dass KSS in die Umgebung verspritzt werden oder dass abgeschleuderte Bruchstücke oder Späne zu Verletzungen führen können. Darüber hinaus helfen sie, Lärm zu mindern. Aufgrund von Thermikströmen, Rotationsbewegungen von Werkzeugen oder Werkstücken und durch das Einströmen von KSS entstehen innerhalb der Einhausungen uneinheitliche Strömungs- und Druckverhältnisse. Damit in Überdruckbereichen keine KSS-Emissionen während des

Arbeitsprozesses austreten und in den Arbeitsbereich des Bedienpersonals gelangen können, sind Absaugsysteme einzusetzen, die im Innenraum der Einhausung einen ständigen Unterdruck erzeugen. Die abgesaugte Luft wird in Abscheidern gereinigt, die in der Regel einzelnen Werkzeugmaschinen zugeordnet sind.

Frühere Untersuchungen zeigten, dass sowohl die Erfassung der Emissionen innerhalb der Werkzeugmaschinen (Absaugung) als auch deren Abscheidung verbesserungsbedürftig sind [3]. So zeigte sich, dass

- die Erfassung innerhalb der Maschine häufig ungünstig angeordnet ist,
- häufig ein zu hoher Erfassungsluftstrom gewählt wird und
- die Absaugleitungen falsch konzipiert sind.

Dies soll im Folgenden näher erläutert werden.

Oft sind die Absaugstellen für die Emissionserfassung zu dicht an der Bearbeitungsstelle angeordnet (Bild 2). Die Folge ist, dass verspritzte KSS erfasst werden, die das Absaugsystem ungünstig belasten und die Erfassungsluft unnötig überfrachten.

Mit der Stärke des gewählten Erfassungsluftstroms steigt auch der Massenstrom an KSS-Emissionen in der Erfassungsluft: Eine Verdoppelung des Luftstroms entspricht dabei einer Verdoppelung des Massenstroms an KSS-Emissionen. Dies kann zu einer Überlastung des gesamten Abluftsystems und teilweise auch zu Ablagerungen im Absaugsystem und somit zur Versottung der Rohrleitungen führen (Bild 3).

In manchen Werkzeugmaschinen sind die Absaugstellen so ungünstig angeordnet und gestaltet, dass Späne den Erfassungsquerschnitt zusetzen können und dadurch der erforderliche Unterdruck innerhalb der Einhausung nicht aufrechterhalten werden kann (Bild 4). Dies wird besonders deutlich, wenn Leckstellen an der Einhausung bestehen (Bild 5).

Ein weiteres Problem sind entweichende Emissionen bei geöffneter Fronttür der Einhausung. In der Regel ist dann zwar die KSS-Zufuhr unterbrochen, dennoch können erhebliche Emissionsmassenströme in den Arbeitsraum entweichen. Eine kurzzeitige Erhöhung des Erfassungsluftstroms bei geöffneter Fronttür kann diese Problematik aus verschiedenen Gründen nicht lösen.

Auch die Vermeidung von Emissionsquellen im Arbeitsbereich darf nicht außer Acht gelassen werden. Im unmittel-

baren Maschinenbereich entstehende Emissionen strömen zur Maschine hin, die wegen der Erfassung in der Maschine als Strömungssenke zu betrachten ist. Vielfach liegen hierin die Ursachen für zu hohe Expositionskonzentrationen.

Im Rahmen eines umfassenden Schutzmaßnahmenkonzeptes sind daher zunächst alle KSS-Emissionsquellen zu ermitteln, z. B. in Form eines Emissionskatasters. Anschließend sollte unbedingt geklärt werden, ob nicht ein Teil der Emissionsquellen vermieden werden oder die Emissionsquellstärken auf ein Mindestmaß reduziert werden können. In ein Erfassungskonzept sind alle Emissionsquellen einzubeziehen. Neben dem Bearbeitungsbereich sind dies vor allem die Austragsstellen für Werkstücke oder Werkzeuge und Späne, Späne- und KSS-Vorratsbehälter, Zwischenlager für Werkstücke oder Halbzeuge, Ablaufrinnen usw. [4].

#### 4 Verbesserung der Erfassung und Abscheidung von Kühlschmierstoffemissionen

Einhausungen an Werkzeugmaschinen lassen sich nur dann verbessern und anwendungsgerecht konzipieren, wenn das Zusammenwirken von Erfassungsströmung, Stoffausbreitungsvorgängen und Störluftbewegungen geschlossen betrachtet und beschrieben werden kann. Um Grundlagen sowohl für die Verbesserung der Emissionserfassung als auch des Abscheideverhaltens zu erarbeiten, fehlten bisher jedoch Hinweise zur Partikelgrößenverteilung und zur Emissionshöhe innerhalb der Werkzeugmaschinen.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes sollen daher sowohl experimentelle Untersuchungen an verschiedenen Werkzeugmaschinen als auch numerische Strömungssimulationen durchgeführt werden. Ergebnisse experimenteller Untersuchungen im Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen (siehe Seite 411) sollen als Vergleichsdaten für die numerischen Strömungssimulationen dienen, die am Lehrstuhl für Heiz- und Raumlufttechnik der Universität Stuttgart durchgeführt werden (siehe Seite 417).

Die Simulationsmodelle werden ggf. angepasst, um eine möglichst gute Übereinstimmung zwischen Experiment und Rechnung zu erzielen. Die auf diese Weise kalibrierte bzw. validierte numerische Simulation wird anschließend für Parameterstudien eingesetzt, die experimentell nicht mit vertretbarem Aufwand realisiert werden können. Ausgewählte Varianten sollen – sofern dies unter den gegebenen Randbedingungen möglich ist – im WZL umgesetzt und ihre Wirksamkeit soll experimentell untersucht werden. Eine detaillierte Beschreibung des Simulationsverfahrens findet sich auf S. 417.

Die Ergebnisse sollen eine erste Grundlage für die Auslegung und Anordnung von Erfassungseinrichtungen und

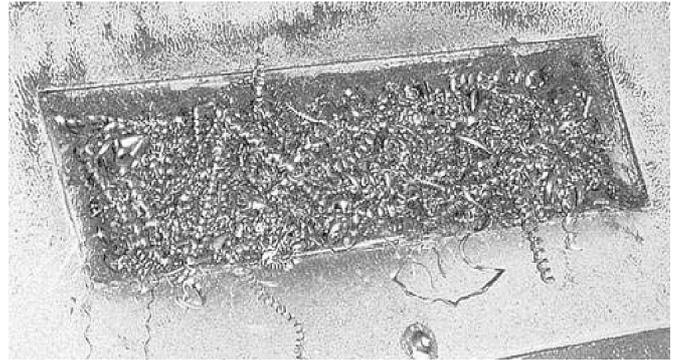


Bild 4. Beispiel für eine durch Späne zugesetzte Erfassungseinrichtung.

somit die Voraussetzungen für eine Optimierung der Emissionserfassung an Werkzeugmaschinen liefern.

Aus vielen Fachgesprächen in Expertenkreisen und aus den Ergebnissen weiterer Untersuchungen konnten darüber hinaus bereits folgende Lösungsansätze abgeleitet werden:

- Die Abscheideleistung für Aerosole hängt ganz wesentlich von der Befrachtung der Abscheider ab. Um eine Überfrachtung zu vermeiden, muss die Beladung der Absaugluft mit Aerosolen möglichst auf ein Mindestmaß beschränkt werden.

- Der Absaugvolumenstrom hat einen großen Einfluss auf die Abscheideleistung. Zu hohe Abluftvolumenströme überfrachten die Abscheider dadurch, dass ein zu hoher Emissionsmassenstrom erfasst und bei gleichzeitig konstantem Abscheidegrad ggf. ein zu hoher Reingasmassenstrom erreicht wird.

- Durch zu hohe Abluftströme werden die Absaugsysteme und Abscheider überdimensioniert, was unweigerlich zu überhöhten Investitions- und Betriebskosten führt.

Oft wird in der betrieblichen Praxis nach der Devise „Viel Luft hilft viel“ verfahren. Richtig wäre es aber, die Aussage „Wenig Luft hilft viel“ zugrunde zu legen. Denn bei gleicher Abscheideleistung sinkt der Massenstrom an KSS-Emissionen proportional mit dem Erfassungsluftstrom. Das bedeutet, dass die Reinluftkonzentration bereits durch die Reduzierung des Erfassungsluftstromes gesenkt wird. Bei gleichzeitiger Verbesserung der Abscheideleistung wird es somit möglich, den in der Reinluft enthaltenen Restmassenstrom an KSS-Emissionen deutlich zu senken.

#### 5 Ausblick

Vielfach entsprechen Maschinen ohne Erfassungssysteme nicht dem Stand der Technik. Abscheidesysteme, die beim Kauf der Maschine bereits integriert sind, nachträglich eingerichtet oder für einen bestehenden Maschinenpark

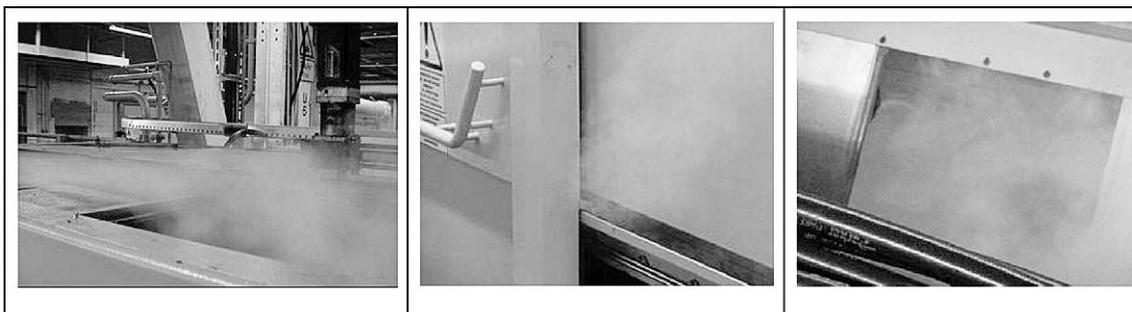


Bild 5. Beispiele für Undichtigkeiten am Maschinengehäuse.

beschafft werden, müssen eine ausreichende Abscheideleistung aufweisen. Der Nachweis kann beispielsweise durch eine Leistungsprüfung im Rahmen einer Baumusterprüfung erfolgen.

Eine Überprüfung der Abscheideleistung einzelner Abscheider erst nach Inbetriebnahme ist jedoch unpraktikabel und sehr aufwändig. Sollte bei einer Überprüfung nach Inbetriebnahme dann auch noch eine unzureichende Abscheideleistung festgestellt werden, lassen sich meistens keine zufriedenstellenden Lösungen finden.

Nachrüstungen müssen vom Betreiber der Maschinen oder durch Fachfirmen durchgeführt werden. Die Nachrüster müssen aufgrund eigener Erfahrungen oder nach Rücksprache mit dem Maschinenhersteller solche Erfassungseinrichtungen planen und ausführen. Dies ist gegenüber einer integrierten Erfassung oft mit höheren Zusatzkosten verbunden. Leider fehlen den Maschinenherstellern aber Grundlagen für die Konzeption von Erfassungseinrichtungen. So kommt es oft zu Planungsfehlern, die dazu führen, dass erhöhte Anteile an KSS-Emissionen erfasst und bei unzureichender Abscheidung zu hohe Anteile an Emissionsmassenströmen in den Arbeitsraum zurückgeführt werden. Ursachen hierfür sind in erster Linie die Überfrachtung der Abscheidesysteme durch unsachgemäße Anordnungen und Ausführungen der Erfassungseinrichtungen und zu hoch gewählte Erfassungsluftströme.

Angaben zu den erforderlichen Volumenströmen und zum Druckverlust sind von großer Bedeutung. Bei nachträglich einzurichtenden Absaugsystemen sind beide Größen für die Auslegung und Funktion im Dauerbetrieb wichtig.

Die genannten Punkte sprechen dafür, dass zukünftig Absaug- und Abscheidesysteme von den Herstellern der Werkzeugmaschinen integriert und bezogen auf den Einsatzbereich, z. B. die Art und Verwendung des KSS, zu optimieren sind. Bisher fehlten jedoch Grundlagen für die Auslegung und Gestaltung solcher Erfassungssysteme. Sowohl die

Maschinen- als auch die Anlagenhersteller benötigen diese Grundlagen, um Absaugsysteme zu planen und in Praxis-tests zu optimieren. Basierend auf den Ergebnissen des Forschungsprojektes sollen Leitlinien erarbeitet werden, die für Konstrukteure, Anlagenbauer und -planer, Betreiber sowie weiteres Fachpersonal Informationen für die sachgerechte Gestaltung von Erfassungseinrichtungen und letztendlich auch für die Gestaltung von Absauganlagen enthalten.

Der Unternehmer soll zukünftig die Gewissheit haben, dass die von ihm beschaffte Werkzeugmaschine Einrichtungen enthält, die eine optimale Entsorgung von KSS-Emissionen aus der Werkzeugmaschine sicherstellt, und er sie somit entsprechend den gesetzlichen Forderungen betreiben kann.

### Literatur

- [1] Pfeiffer, W.; Stockmann, R.; Sonnenschein, G.; Breuer, D.; Blome, H.; Deininger, C.: Kühlschmierstoffe – Umgang, Messung, Beurteilung, Schutzmaßnahmen. BIA-Report 3/91. 2. Aufl. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 1993.
- [2] Pfeiffer, W.; Breuer, D.; Blome, H.; Deininger, C.; Hahn, J. U.; Kleine, H.; Nies, E.; Stockmann, R.; Willert, G.; Sonnenschein, G.: Kühlschmierstoffe. BIA-Report 7/96. 2. Aufl. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 1996.
- [3] Kühlschmierstoffe und andere komplexe kohlenwasserstoffhaltige Gemische – Sicherer Umgang, Expositionsbeurteilung, Schutzmaßnahmen, betriebliche Organisation. Kühlschmierstoff-Informationssystem auf CD-ROM. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA. 2. Aufl. Storck, Hamburg 2003.
- [4] Stockmann, R.; Böckler, M.; Michels, P.; Bannert, P.; Tigler, A.; Sefrin, H.; Wüstefeld, B.; Krutisch, I.; Kleine, H.: BG/BIA-Empfehlungen zur Überwachung von Arbeitsbereichen – Einsatz von Kühlschmierstoffen bei der spanenden Metallbearbeitung. BIA-Report 4/04. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2004. [www.hvbg.de/bgia](http://www.hvbg.de/bgia), Webcode: 941742.