

HPM Technologie GmbH

Abschlussbericht zum Vorhaben

„Entwicklung eines erstmalig vollständig wasserbasierten High-Tech-
Fluids im Bereich der Minimalmengenschmierung für zerspanende
Verfahren“

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 33788/01 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Von

Hanspeter Münzing

Steffen Hoffmann

Juli 2018

06/02		Projektkennblatt			
		der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	33788	Referat	21	Fördersumme	120.156 €
Antragstitel		Entwicklung eines erstmalig vollständig wasserbasierten High-Tech-Fluids im Bereich der Minimalmengenschmierung für zerspanende Verfahren			
Stichworte		Minimalmengenschmierung – Fluid – wasserbasiert – Zerspanung			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
12 Monate	14.03.2017	14.03.2018	4		
Zwischenberichte		1			
Bewilligungsempfänger		HPM Technologie GmbH Rudolf-Diesel-Str. 3 72525 Münsingen		Tel +49 7381 9344-12 Fax +49 7381 9344-88	
				Projektleitung Hanspeter Münzing	
				Bearbeiter	
Kooperationspartner		keine			
 Zielsetzung und Anlass des Vorhabens					
<p>Beim Stand der Technik wird bei spanenden Verfahren nach wie vor vorrangig auf das klassische Fluten zurückgegriffen. Zielstellung des Vorhabens war es infolgedessen, ein unter ökologischen Gesichtspunkten maßgeblich verbessertes und höchsten Ansprüchen genügendes Schmiermittel für die Minimalmengenschmierung zu entwickeln, welches nicht kennzeichnungspflichtig, wasserbasiert und für spanende Verfahren einsetzbar ist. Des Weiteren sollte erstmalig der Einsatz eines wasserbasierten Bearbeitungsmittels für die innere Schmiermittelzufuhr realisiert werden.</p>					
 Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden					
<p>Das Entwicklungsvorhaben erfolgte für den spezifischen Anwendungsbereich des Bohrens und umfasste die folgenden 4 Meilensteine:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Detaillierung des angestrebten Lösungskonzepts (Bewertung unterschiedlicher Einzeladditive hinsichtlich Funktionalität, Verfügbarkeit, Preis etc., Auswahl geeigneter Einzeladditive etc.) • Entwicklung unterschiedlicher Fluidrezepturen (Zusammenstellen unterschiedlicher Fluidrezepturen, Festlegung eines Prüfprotokolls, Durchführung von Temperaturreibungsversuchen etc.) • Auswahl der optimalen Fluidrezeptur (Aufbau einer Versuchsumgebung, Durchführung Anwendungsversuche, metallurgische Untersuchungen, Bewertung der Versuchsergebnisse, Auswahl der bestmöglichen Rezeptur etc.) • Entwicklung der Applikationstechnik für die innere MMS und Integration in den Versuchsaufbau (Anwendung des Fluids im MMS-System, Optimierung des Systems, Durchführung von Langzeit-sprühversuchen, Korrosionstests etc.) 					
<small>Deutsche Bundesstiftung Umwelt ☐ An der Bornau 2 ☐ 49090 Osnabrück ☐ Tel 0541/9633-0 ☐ Fax 0541/9633-190 ☐ http://www.dbu.de</small>					

Ergebnisse und Diskussion

Die Zielstellungen des Entwicklungsvorhabens konnten rückblickend vollumfänglich erfüllt wurden. Es zeigte sich, dass das entwickelte High-Tech-Fluid eine hervorragende Performance gegenüber konventionellen MMS-Medien aufweist und unter ökologischen Gesichtspunkten erhebliche Vorteile besitzt. Die bei der Durchführung des Vorhabens aufgetretenen Entwicklungsherausforderungen (beispielsweise spontan auftretende Absprengungen an der Werkzeugschneide) führten dabei zu hoch innovativen Lösungen im Bereich der Schmiermitteltechnik. Weiterer Forschungsbedarf besteht aktuell in der Übertragbarkeit des Fluids auf andere Anwendungsbereiche. Bei Anwendungsversuchen ohne einen geschlossenen Arbeitsraum zeigte sich, dass das Schmiermittel von der Werkstückoberfläche abprallt und somit seine Netzwerkung nicht entfalten kann. Diese Herausforderung, das entwickelte Fluid vom Bohren auf andere spanende Verfahren zu adaptieren, soll in den kommenden Monaten angegangen werden, um einen möglichst breiten Anwendungsbereich sicherstellen zu können.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation der Entwicklungsergebnisse soll unter anderem über Messebesuche, Artikel in Fachzeitschriften, die eigene Firmenhomepage sowie das Netzwerk „Zukunftsorientierte Zerspanung“ erfolgen. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung wird das entwickelte High-Tech-Fluid bereits von Kunden aus unterschiedlichen Branchen getestet, um weitere Optimierungsmöglichkeiten aus dem Anwendungsbetrieb ableiten zu können.

Fazit

Nach Abschluss des Vorhabens gilt es als Fazit festzuhalten, dass die definierten Zielstellungen erfüllt wurden. Erste Anwendungsversuche bestätigten dabei die Vorteilhaftigkeit und die sehr gute Performance des entwickelten High-Tech-Fluids. Die mit dem Vorhaben einhergehenden Entwicklungsherausforderungen führten zu innovativen Lösungsansätzen, welche im Bereich der Schmiermitteltechnik neue Maßstäbe setzen. Infolgedessen wird für die zukünftige Verwertung von entscheidender Bedeutung sein, das entwickelte Fluid auf möglichst viele Anwendungsbereiche adaptieren zu können.

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt.....	1
Zusammenfassung	4
1 Einleitung	5
2 Stand des Wissens und der Technik.....	6
3 Zielsetzung des Vorhabens.....	8
4 Darstellung der durchgeführten Arbeitsschritte sowie der wichtigsten technischen Erkenntnisse.....	9
4.1 Entwicklungsschritte und -herausforderungen	9
4.2 Wichtige technische Erkenntnisse	13
5 Bewertung der Vorhabenergebnisse und weiterer Forschungsbedarf	16
6 Darstellung der wirtschaftlichen Verwertbarkeit	17
7 Fazit.....	18

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Dokumentation Versuchsdurchführung (verschlissene Bohrer)	11
Abbildung 2: Temperatur-Zeit-Verlauf unterschiedlicher Additive	12
Abbildung 3: Medienvergleich Samnos und Garia SL	14

Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund, dass beim Stand der Technik nach wie vor vorrangig auf klassische Kühlschmierstoffe eingesetzt werden und diese mit erheblichen Belastungen für Mensch und Umwelt einhergehen, war es Zielstellung des Vorhabens, ein Schmiermittel für die Minimalmengenschmierung zu entwickeln, welches höchsten ökologischen Ansprüchen genügt. Mit der Entwicklung dieses Fluids sollte dabei zum einen die Einsatzmöglichkeiten der Minimalmengenschmiertechnik erweitert und zum anderen die bislang eingesetzten Basisflüssigkeiten, wie beispielsweise Mineralölraffinate, Hydrocracköle und synthetische Öle, durch Wasser substituiert werden.

Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen des Vorhabens zunächst die am Markt verfügbaren Einzeladditive detailliert analysiert, um darauf aufbauend erste Additivzusammensetzungen zu entwickeln und in Temperaturreibungsversuchen zu bewerten. Die entwickelten Fluidrezepturen wurden daraufhin in umfangreichen Anwendungsversuchen und Testläufen analysiert und optimiert. Beispielhaft zu nennen sind Tiefbohrversuche und Temperaturverlaufsmessungen, Langzeitsprühuntersuchungen sowie Korrosionstests. Abschließend galt es, das entwickelte Fluid auf die innere Zuführung der Minimalmengenschmierung zu adaptieren und dabei die Applikationstechnik und Schmiermittelzuführung entsprechend auszulegen.

Das neuartige Wirkprinzip des entwickelten Fluids basiert dabei auf zwei zentralen Effekten: Zum einen werden die atmosphärischen Bedingungen an der Werkzeugschneide gezielt beeinflusst und zum anderen ermöglicht die Kombination der eingesetzten Additive eine zweistufige Kühlwirkung. Infolgedessen konnte bei den bisherigen Anwendungsversuchen der Temperaturverlauf am Werkzeug definiert gesteuert und die Standzeit der Werkzeuge erheblich verbessert werden. Aufgrund der bisherigen positiven Rückmeldungen der Kunden, der bereits erreichten Leistungsparameter sowie der ökologischen Vorteilhaftigkeit gegenüber konventionellen Schmiermitteln soll das entwickelte Fluid zukünftig auf weitere Anwendungen adaptiert werden, um einen möglichst großen Einsatzbereich abdecken zu können. Die Verbreitung der Entwicklungsergebnisse soll dabei unter anderem über Messebesuche, Artikel in Fachzeitschriften, die eigene Firmenhomepage sowie das Netzwerk „Zukunftsorientierte Zerspanung“ erfolgen.

1 Einleitung

Kühlschmierstoffe (KSS) werden bei Fertigungsverfahren der umformenden, trennenden und spannenden Be- und Verarbeitung von Werkstoffen mit dem Ziel eingesetzt, das Werkzeug zu kühlen, die Reibung zwischen Werkstück und Werkzeug zu vermindern, den Verschleiß des Werkzeugs zu begrenzen sowie die Späne abzuführen. Zum Einsatz kommen dabei nichtwassermischbare KSS, insbesondere naphta- oder paraffinbasierende Mineralöle, seltener synthetische Öle, sowie wassermischbare KSS, wie z. B. anwendungsfertige Emulsionen. Während bei Einzelmaschinen Umlaufschmierungen mit ca. 3 bis 1.000 Litern verwendet werden, können sich bei einer zentralen Schmiermittelversorgung Zehntausende Liter in der Versorgungseinheit befinden. Trotz der umweltrelevanten Belastungen sowie der gesundheitsschädlichen Auswirkungen auf die Mitarbeiter, insbesondere aufgrund der Aerosolbildung, wird das Fluten nach wie vor in einem Großteil der metallbearbeiteten Unternehmen eingesetzt. Dabei zeigen die mit dem Einsatz des Flutens einhergehenden Problemstellungen, insbesondere mit Blick auf die Umweltbelastung, die grundsätzliche Notwendigkeit, innovative Schmierstofftechnologien zu entwickeln und erfolgreich am Markt zu platzieren. Die zunehmende Bedeutung der Minimalmengenschmierung (MMS) in der betrieblichen Praxis liefert hier entscheidende Verbesserungsmöglichkeiten. Dabei bietet die MMS zwar maßgebliche ökonomische und ökologische Vorteile, ein Großteil der metallverarbeitenden Unternehmen greift aber nach wie vor auf das herkömmliche Fluten zurück. Dies zeigt auch eine Studie des Fraunhofer ISI aus dem Jahr 2009, bei welcher lediglich 15 % der befragten Unternehmen der verarbeitenden Branche angaben, auf das Konzept der MMS zurückzugreifen.¹ Dabei ist Minimalmengen-Schmiertechnik in der spanenden Metallbearbeitung in der Lage, höchste Produktivität mit ökologischen und gesundheitlichen Vorteilen zu verbinden.

Allein die deutliche Reduzierung des Verbrauchs an Kühlschmierstoffen bringt in vieler Hinsicht Verbesserungen für die gesamte Metall verarbeitende Branche, Mensch und Umwelt mit sich. Bei dieser Art der Verlustschmierung sind ca. 25 Milliliter Schmiermittel pro Stunde ausreichend, was im Vergleich zur Umlaufschmierung und dem hier anfallenden Systemaustrag von ca. einem Liter pro Stunde eine maßgebliche Verbesserung darstellt. Als Basisflüssigkeiten kommen dabei insbesondere aromatenarme Kohlenwasserstoffgemische (Mineralölraffinate, Hydrocracköle und Poly-alphaolefine), Carbonsäureester und Fettalkohole zum Einsatz.

Aufbauend auf dieser Ausgangssituation haben wir uns als Vorreiter in der Entwicklung von Fluiden für die MMS das Innovationsvorhaben mit dem Ziel initiiert, einen wasserbasierten Schmierstoff zu entwickeln, welcher nicht nur höchsten ökologischen Standards entspricht, sondern dar-

¹ Erhebung „Modernisierung der Produktion“ (2009), 1.394 befragte Unternehmen

über hinaus über hervorragende Leistungsparameter im Vergleich zu konventionellen Schmiermitteln verfügt. Um eine möglichst schnelle Marktakzeptanz sicherstellen und gleichzeitig unterschiedliche Anwendungsbereich abdecken zu können, sollte dabei das High-Tech-Fluid so ausgelegt werden, dass erstmalig auch der Einsatz eines wasserbasierten Fluids für die innere Schmiermittelzufuhr möglich ist.

2 Stand des Wissens und der Technik

Wie bereits vorangehend skizziert, wird beim Stand der Technik nach wie vor vorrangig auf das klassische Fluten zurückgegriffen. Hinsichtlich des damit einhergehenden Energiebedarfs, Ressourceneinsatzes und der gesundheitlichen Risiken ergeben sich dabei erhebliche Problemstellungen, welche im Folgenden zusammengefasst dargestellt sind:

- Kühlschmierstoffe unterliegen während ihres Einsatzes verschiedenen Verunreinigungen, deren Entstehung im normalen Betriebsablauf nur zum Teil verhindert werden kann. Durch Abrieb von Metalloberflächen verunreinigen Feststoffe die Kühlschmierstoffe, Hydrauliköle gelangen in den Kreislauf, Zersetzungsprodukte durch thermische Einflüsse oder Bakterien vermindern die Qualität, gesundheitsgefährdende Nitrosamine können entstehen. Um hier entgegenzuwirken, müssen Fremdstoffe durch mechanische, zum Teil sehr energieintensive Maßnahmen entfernt (z. B. Absetzbecken, Zentrifugalabscheider, Filtrationsanlagen, etc.), Fremdflüssigkeit abgetrennt (z. B. Öltrennbehälter, Ringkammerentöler, etc.) sowie der Bildung von biologischen Arbeitsstoffen bzw. Biofilmen entgegengewirkt werden (z. B. Pestizide, Fungizide, Biozide).
- Bei der Verwendung herkömmlicher Kühlschmierstoffe wird eine energieintensive Absaugung und Lüftung benötigt. Darüber hinaus müssen die eingesetzten Umwälzpumpen aufgrund ihrer geringen Lebensdauer in regelmäßigen Abständen getauscht werden.
- Die eingesetzten Kühlschmiermittel bilden im Rahmen des Bearbeitungsprozesses Kühlschmierstoff-Aerosole, -Rauche und -Dämpfe. Diese entstehen zum einen mechanisch durch Zerstäubung bei schnell rotierenden Teilen (z. B. Drehen und Schleifen) und zum anderen thermisch durch Cracken und Rückkondensation von verdampften Kühlschmierstoffen an heißen Oberflächen (z. B. Werkstücke, Werkzeuge und Späne). Durch die Aufnahme der Dämpfe und Aerosole über die Atemwege, den Verdauungstrakt sowie Hautkontakt entstehen dabei zahlreiche gesundheitliche Gefahrenpotenziale, wie beispielsweise allergisierende und toxische Wirkungen, irritative und erbgutverändernde Effekte sowie krebserregende Reaktionen. Diesbezüglich kann eine Studie der Berufsgenossenschaft aus dem Jahr

2008 herangezogen werden, welche belegt, dass 30 Prozent der berufsbedingten Hautkrankheiten auf den Kontakt mit KSS zurückgeführt werden können.² Besonders problematisch ist dabei insbesondere die Verwendung von Bioziden und Pestiziden, die bei der Umlaufschmierung aufgrund der Bildung von Mikroorganismen benötigt werden.

- Die Rückgewinnung und Wiederverwertung der nassen Späne ist nur durch eine intensive Aufbereitung und Reinigung möglich. Darüber hinaus wird durch die nassen Späne in Verbindung mit der Aerosolbildung der Umlaufschmierung kontinuierlich Schmiermittel entzogen. Dieser Austrag beträgt ca. ein Liter je Stunde, ist aber unter anderem abhängig vom eingesetzten Bearbeitungsverfahren sowie der Anlagengröße.
- Verbrauchte Kühlschmierstoffe sind generell als gefährliche Abfälle (Sondermüll) einzustufen und müssen nach Abfallverzeichnisverordnung den verschiedenen Abfallarten zugeordnet und getrennt gesammelt werden.

Aufgrund der vorangehend dargestellten Problemstellungen bietet die Implementierung von MMS-Systemen aus ökologischer und auch ökonomischer Sicht grundsätzlich erhebliche Vorteile. Während im Bereich der Umlaufschmierung ein Systemaustrag von ca. einem Liter pro Stunde unterstellt werden kann (und somit auch ein Austrag an wertvollen Ressourcen), beträgt der Verlust bei der MMS ca. 25 Milliliter die Stunde. Hiermit einhergehen beispielsweise trockene Späne und somit eine vereinfachte Aufbereitung und Wiederverwertung, trockene Werkstücke, reduzierte Gefahrenpotenziale für Bedienpersonal sowie eine grundsätzlich höhere Ressourceneffizienz beim Betriebsmitteleinsatz. Herkömmliche Schmierstoffe (KSS und MMS) greifen jedoch auf Mineralöl-Raffinate, Hydrocracköle und synthetische Öle (insbesondere Polyalphaolefine und Carbonsäureester) als Basisflüssigkeiten zurück. Dabei ist die Gewinnung und Herstellung dieser Basisflüssigkeiten extrem aufwendig und energieintensiv. Da bislang am Markt keine wasserbasierten Fluide im Bereich der MMS etabliert werden konnten, bieten sich hier erhebliche Möglichkeiten zur Umweltentlastung.

Festzuhalten gilt an dieser Stelle, dass der Einsatz einer MMS gegenüber dem Fluten insbesondere aus ökologischer Sicht mit erheblichen Vorteilen verbunden ist. Da in Bezug auf die verwendeten Basisflüssigkeiten der MMS-Fluide jedoch stets auf mineralische und synthetische Öle zurückgegriffen wird, ergeben sich diesbezüglich maßgebliche Optimierungspotenziale zur Realisierung umfangreicher Umweltentlastungen und Ressourceneinsparungen.

² Vgl. VDMA Fachverband Allgemeine Lufttechnik (2002): Kühlschmierstoffe – Frische Luft am Arbeitsplatz.

3 Zielsetzung des Vorhabens

Im Rahmen des Innovationsvorhabens sollte ein hochinnovatives High-Tech-Schmiermittel im Bereich der MMS entwickelt werden, welches nicht kennzeichnungspflichtig, wasserbasiert und für spanende Verfahren einsetzbar ist. Angesichts der unterschiedlichen Anforderungen, die die Zerspanungsprozesse an das Schmiermittel stellen, wurde das Fluid zunächst für das Bohren entwickelt und nach Abschluss des Vorhabens auf Fräs- und Drehprozesse adaptiert werden. Inwiefern diesbezüglich auch der Einsatz für Schleifprozesse möglich ist, gilt es aufgrund der hierbei einhergehenden Problemstellungen mit Blick auf den Schleifstaubtransport nach erfolgreichem Projektabschluss zu evaluieren.

Grundsätzlich wurde im Rahmen des Innovationsprojekts die Zielstellung verfolgt, ein unter ökologischen Gesichtspunkten maßgeblich verbessertes und höchsten Ansprüchen genügendes Schmiermittel zu entwickeln, welches darüber hinaus die bestehenden Leistungsparameter übertreffen soll. Angesichts der Tatsache, dass herkömmliche ölbasierte Schmierstoffe eine Temperaturbeständigkeit von ca. 200 bis 280 °Celsius aufweisen, gilt es im Rahmen des Vorhabens eine Temperaturbeständigkeit der Schmierkomponenten möglichst höher zu gestalten sowie das nahezu rückstandsfreie Verdampfen zu realisieren.

Eine weitere zentrale Zielstellung des Entwicklungsvorhabens ist es, erstmals den Einsatz eines wasserbasierten Bearbeitungsmittels für die innere Schmiermittelzufuhr zu ermöglichen. Diese Funktionalität konnte bislang von keinem der am Markt verfügbaren Schmiermittel auf Wasserbasis realisiert werden und stellt ein absolutes Alleinstellungsmerkmal des Entwicklungsvorhabens dar. Dabei ist es von entscheidender Bedeutung, dass eine optimale Abstimmung zwischen Applikationstechnologie (Herstellung des Aerosol-Gemisches sowie dessen Auftrag) und Fluidzusammensetzung realisiert werden kann, um die geforderten Leistungsmerkmale hinsichtlich der Tröpfchengröße und -verteilung zu erfüllen. Um jedoch die kundenseitige Produktakzeptanz zu erhöhen und eine schnelle Marktverbreitung zu ermöglichen, gilt es sicherzustellen, dass die Entwicklungsergebnisse in Bezug auf die Systemanforderungen auf bereits bestehende Minimalmengenschmier-systeme übertragen werden können (bspw. hinsichtlich der erforderlichen Parametrik etc.). Beispielhaft zu nennen sind diesbezüglich Systeme der Firmen Knoll oder Bielomatik. Das Nachrüsten von KSS- auf MMS-Systeme soll für den definierten Anwendungsbereich im Bereich der zerspanenden Verfahren grundsätzlich möglich sein, um eine Substitution herkömmlicher KSS zu ermöglichen.

4 Darstellung der durchgeführten Arbeitsschritte sowie der wichtigsten technischen Erkenntnisse

Grundsätzlich basierten die durchgeführten Arbeitsschritte auf den bislang im Bereich der MMS gewonnenen Erkenntnissen und Erfahrungswerten. Dabei zeigten die bisherigen Einsätze von Polyethylenglykolderivaten im Bereich der MMS, dass trotz der vorhandenen Problemstellungen (zu frühes Ausflocken, unbefriedigendes Temperaturbeständigkeitsniveau etc.) eine Kühlwirkung mittels chemischer Reaktion realisiert werden kann. Das dem Einsatz von Polyethylenglykolderivaten zugrunde liegende Prinzip einer spontanen Reaktion zur Kühlung des Werkzeuges bildete dabei die wissenschaftliche Grundlage des durchgeführten Vorhabens. Über die angestrebte pyrolytische Zersetzung (Spaltung der Verbindungen durch hohen Energieeintrag in kleinere Moleküle) sollte eine Kühlwirkung erzielt werden, wobei einhergehende exotherme Oxidationsprozesse durch reduzierend wirkende Reagenzien zurückgedrängt werden sollten. Aktuell von der Forschung vorangetriebene Ansätze wie der Einsatz von Kaltluftdüsen unter Einsatz von CO_2 und N_2 (Kryotechnik) wurden aufgrund ihres gesundheitlichen Gefahrenpotenzials und der benötigten energieintensiven Anlagenperipherie im Rahmen des Entwicklungsprojekts nicht verfolgt. Vielmehr war es die Zielstellung, die benötigte Kühlwirkung vollumfänglich direkt über die eingesetzten Additive zu realisieren. Dabei zeigten projektvorbereitende Berechnungen, dass einzelne Molekülklassen bzw. Stoffklassen theoretisch die geforderten Bedingungen (bspw. hinsichtlich des Energieniveaus) und die benötigten Parameter erfüllen. Die durchgeführte thermodynamische Berechnung lieferte eine Bilanz zwischen den Ausgangsmolekülen und deren thermischen Zerfallsprodukten. Eine weitere zentrale Herausforderung war die Schmierwirkung des Fluids. Als Lösungsansatz waren in diesem Zusammenhang aschefreie Additive wie wasserlösliche Carbamate (Harnstoffderivate) u. ä. Als Alternative hierzu waren in kleinem Umfang auch Phosphorsäure-basierende Additive angedacht.

4.1 Entwicklungsschritte und -herausforderungen

Basierend auf diesen projektvorbereitenden Berechnungen und Überlegungen werden im Folgenden die durchgeführten Arbeitsschritte sowie die dabei gewonnenen Erkenntnisse dargestellt. Im Rahmen der Projektbearbeitung kam es dabei zu keinen zeitlichen oder inhaltlichen Änderungen. Das heißt, das Entwicklungsvorhaben wurde wie ursprünglich geplant anhand der folgenden Meilensteine bearbeitet:

Meilenstein 1: Detaillierung des angestrebten Lösungskonzepts

- Ableiten und Detaillierung von Anforderungen an die einzelnen Additive auf Basis der durchgeführten Berechnungen, Verfügbarkeit, Preis, Kennzeichnungspflicht, etc.; Ableiten von Anforderungen in Bezug auf das MMS-System (nicht klebend, Dampfdruck etc.); Untersuchung, Recherche und Sondierung der am Markt verfügbaren Additive.

- Gewichtung der Anforderungen; Bewertung auf Basis der Anforderungen und Selektion möglicher Additive, Zielstellung: Auswahl einer Reihe von Einzeladditiven.

Meilenstein 2: Entwicklung unterschiedlicher Fluidrezepturen

- Ausarbeitung eines Versuchsprotokolls, Definition der Rahmenbedingungen (Drehzahl, Material, Auflagedruck, Bohrung, Zylinder); Bereitstellung der benötigten Versuchsaapparaturen (Mikroskope, Temperaturmessung etc.); Aufbau der Testumgebung.
- Durchführung von Reibungstemperaturversuchen mit Einzeladditiven; Analyse der Versuchsergebnisse auf Basis von Temperaturmessungen etc.; Analyse von Störsubstanzen und Wechselwirkungen im Fluid; Bewertung der Ergebnisse und Sondierung der optimalen Additive.
- Zusammenführung der ausgewählten Additive zu unterschiedlichen Fluiden (unterschiedliche Konzentrationen); Erforschung vorhandener Synergieeffekte.

Meilenstein 3: Auswahl der optimalen Fluidrezeptur

- Aufbau einer praxisnahen Versuchsumgebung bei äußerer MMS-Zuführung; Ausarbeitung eines Versuchsprotokolls (Definition von Werkzeugen, Materialien und Bohrtiefe und Definition der Startparameter in Abhängigkeit von Herstellerangaben; Bereitstellung der Anlagenkomponenten und Versuchsaapparaturen.
- Versuchsdurchführung mit den entwickelten Fluidzusammensetzungen; Bewertung der Ergebnisse anhand von Anlassfarben (Späne), Temperaturmessungen (bspw. Infrarot) und mikroskopische Oberflächenuntersuchungen; Analyse und ggf. Implementierung eines Reduktionsmittels; Analyse der erreichten Leistungsparameter (hierzu Durchführung des Versuchs mit herkömmlichen Fluiden als Vergleichsprozess).
- Auswahl der bestmöglichen Fluidrezeptur und iterative Verbesserung.

Meilenstein 4: Entwicklung der Applikationstechnik für die innere MMS und Integration in den Versuchsaufbau

- Einsatz des entwickelten Fluids in der Applikationstechnik; Untersuchung der Transport- und Zerstäubungsfähigkeit (Stabilität des Nebels min. 20 Minuten, Einsatz von Kamerasystemen und Laserstreuung, empirische Messung auf Prallfläche/Benetzungsfläche).
- Ableiten und Durchführung von Optimierungsmöglichkeiten zwischen Fluid und System (bspw. Parametrik, Düsenttechnologie).
- Integration des MMS-Systems in Versuchsaufbau; Durchführung von Versuchen bei innerer Zuführung; Untersuchung der erreichten Leistungsparameter analog der äußeren MMS-Zuführung; Iterative Optimierung des High-Tech-Fluids sowie der Systemparameter; Freigabe des Fluidrezeptur; Ableiten von Anpassungsmöglichkeiten des Fluids für weitere Anwendungsbereiche (Drehen und Fräsen); Dokumentation der Ergebnisse.

Bei der Durchführung der vorangehend beschriebenen Arbeitspakete sah sich das Projektteam mit erheblichen Entwicklungsherausforderungen konfrontiert. Eine wesentliche Problemstellung im Rahmen der Projektbearbeitung resultierte dabei insbesondere aus der Vielzahl der getesteten Additive sowie deren gegenseitige Wechselwirkungen. Diese Wechselwirkungen führten dazu, dass die Veränderungen einzelner Komponenten oder Konzentrationen der Fluidbestandteile zu unterschiedlichen Auswirkungen führten, die nur begrenzt nachvollzogen werden konnten. Infolgedessen mussten zahlreiche Reibungsversuche durchgeführt werden, um auf Basis der Testergebnisse eine optimale Rezeptur entwickeln zu können. Die folgende Abbildung verdeutlicht diesbezüglich exemplarisch den daraus resultierenden Versuchsaufwand im Rahmen des Entwicklungsvorhabens. Des Weiteren ist in Abbildung 2 ein Temperatur-Zeit-Verlauf für unterschiedliche Additivzusammensetzungen dargestellt. Im Zuge der Reibungsversuche und der hier getesteten Additivzusammensetzungen wurde über eine Zeitspanne von ca. 45 Minuten alle 30 Sekunden das Temperaturniveau im Wirkungsbereich dokumentiert. Die Abbildung zeigt beispielhaft die Entwicklung der möglichen Temperaturkurven: Verschweißen zwischen Werkstück und Werkzeug, kontinuierliches Ansteigen des Temperaturniveaus auf über 400 °C und Einpendeln der Temperatur auf ein konstantes Niveau.



Abbildung 1: Dokumentation Versuchsdurchführung (verschlissene Bohrer)

Stahl: Vergleich unterschiedlicher Additive

Legende:

- Glycerin + H2O
- Glycerin + HV20 + Wasser + Pyridazin
- Glycerin + HV20 + H2O

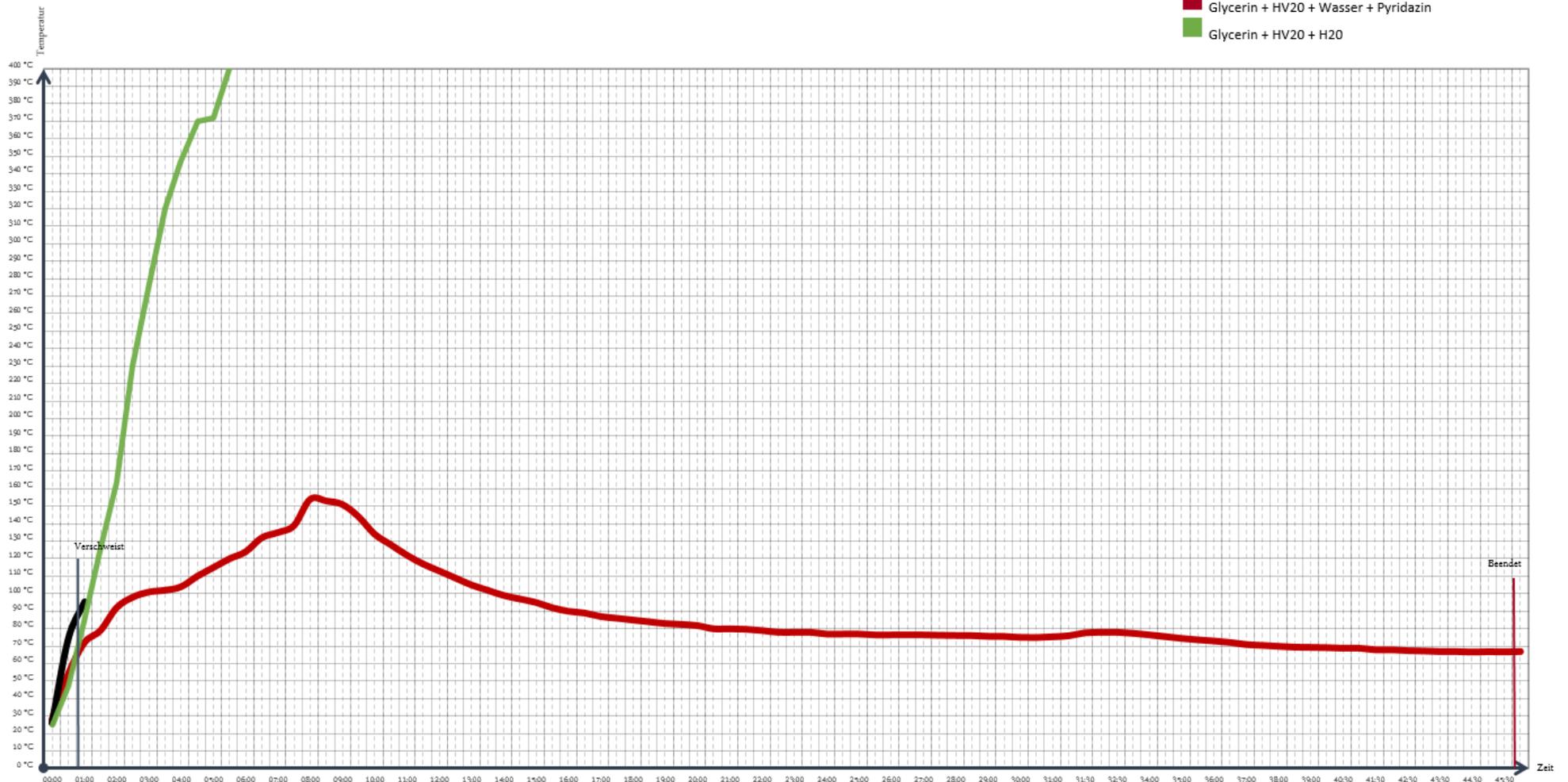


Abbildung 2: Temperatur-Zeit-Verlauf unterschiedlicher Additive

Zusätzlich zu der vorangehend dargestellten Herausforderung hinsichtlich der gegenseitigen Wechselwirkungen der einzelnen Additive sind die weiteren im Projektverlauf aufgetretenen Problemstellungen nachfolgend zusammengefasst:

- Getestet wurden im Rahmen des Vorhabens sechs unterschiedliche, nicht kennzeichnungspflichtige Lösemittel. Bei einigen entwickelten Fluidrezepturen kam es dabei zu Kristallbildungen und Ausflockungen. Da diese Reaktion zum Teil erst nach drei bis vier Wochen stattfand, mussten die entwickelten Rezepturen entsprechend haltbar gemacht werden. Problematisch war dabei, dass die hierfür eingesetzten Additive die Funktionalität der Flüssigkeit beeinflussten. Infolgedessen musste die gesamte Rezepturentwicklung iterativ und über längere Zeiträume hinweg erfolgen.
- Im Rahmen von Korrosionstests wurden unterschiedliche Materialien (Stahl, Messing, Kupfer, Aluminium etc.) über zwei Wochen hinweg mit den Flüssigkeiten beaufschlagt. Dabei kam es zum Teil zu grünen und türkisfarbenen Verfärbungen an den Kupfer-Werkstücken, welche hinsichtlich der Außenwirkung kundenseitig unerwünscht sind. Des Weiteren setzten sich im Zuge von Langzeitsprühtests Flüssigkeitsrückstände an den Düsen ab und verstopften diese. Dieser Effekt trat insbesondere bei Stillstandzeiten auf. Bei beiden Effekten galt es, die ursächlichen Additivkomponenten zu evaluieren und entsprechend zu ersetzen.
- Im Rahmen der Adaption der Entwicklungsergebnisse auf andere spanende Prozesse zeigte sich, dass die Tropfen in einem nicht geschlossenen Bauraum an der Oberfläche des Werkstücks abprallen und dementsprechend ihre Wirkung nicht vollumfänglich entfalten können. Die Übertragbarkeit des entwickelten Fluids auf andere spanende Prozesse wird infolgedessen voraussichtlich weitere Entwicklungsarbeiten erfordern.
- Eine weitere Entwicklungsherausforderung trat hinsichtlich der Trennwirkung des Fluids auf. Mit zunehmender Trennwirkung wurde dabei ein höherer Druck für das Eindringen der Schneide in das Werkstück benötigt, was wiederum zu einer verstärkten Temperaturentwicklung führt. Das heißt, dass im Rahmen des Vorhabens ein Optimum im Zielkonflikt zwischen Trennwirkung und benötigtem Vorschubdruck gefunden werden musste.
- Abschließend gilt es festzuhalten, dass das Sichtbarmachen des Fluids eine entscheidende Herausforderung war. Diese Eigenschaft ist insbesondere für die Inbetriebnahme des MMS-Systems bei unseren Kunden entscheidend, um sicherstellen zu können, dass das Aerosol im Wirkungsbereich ankommt. Die Einstellung der Tröpfchengröße in Kombination mit der Oberflächenspannung war dabei ein wesentlicher Entwicklungsschritt.

4.2 Wichtige technische Erkenntnisse

Wesentlicher Bestandteil des Entwicklungsvorhabens war die Durchführung von Anwendungsversuchen und Vergleichsreihen zu konventionellen MMS-Medien. Eingebunden war diesbezüglich

auch die Universität Stuttgart, welche ein Medienvergleich beim Harttiefbohren durchführte. Zum Einsatz kamen dabei das MMS-Medium Garia SL 201 sowie ein Entwicklungsstand der entwickelten Samnos-Reihe. Die Ergebnisse sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

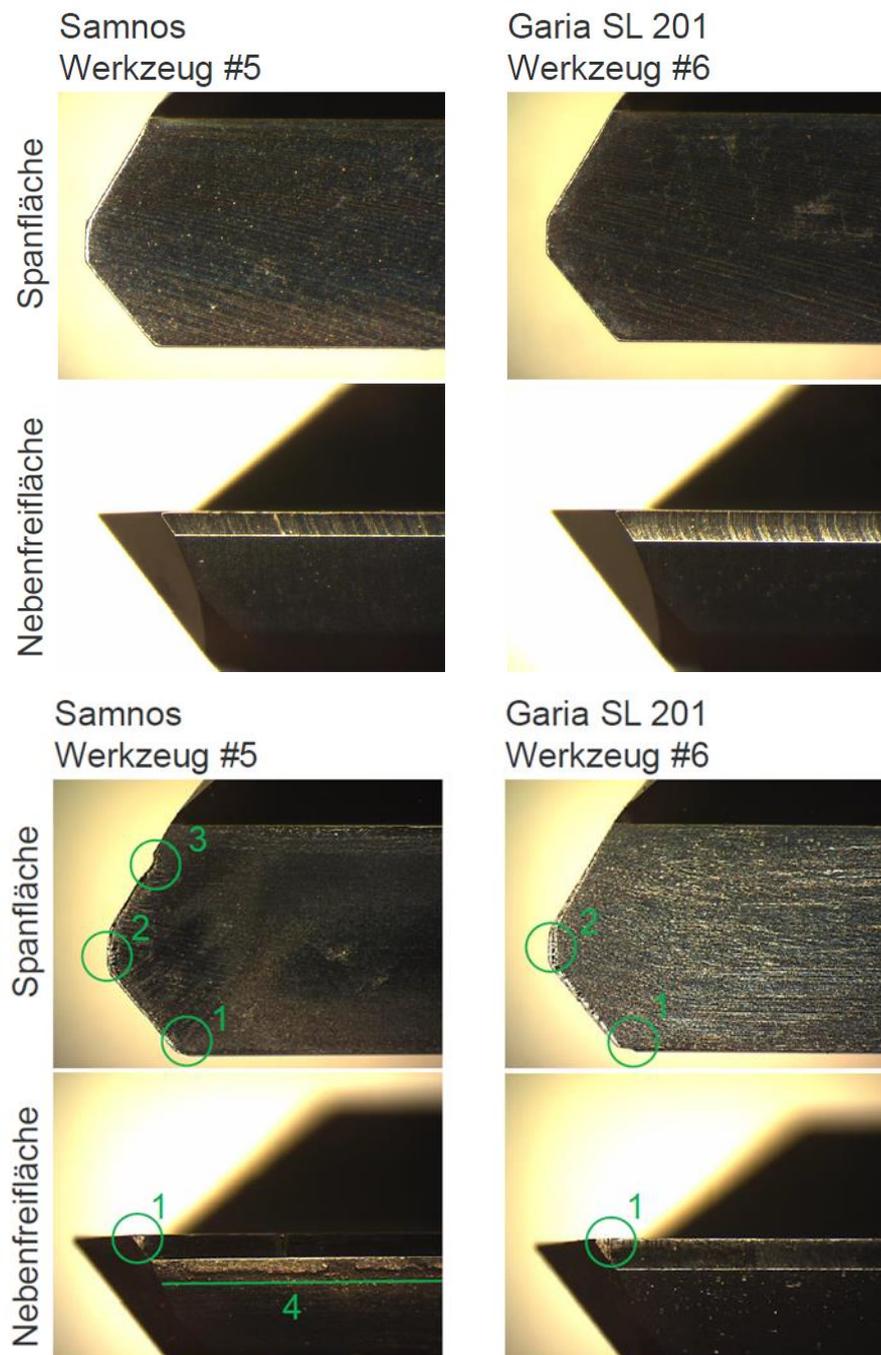


Abbildung 3: Medienvergleich Samnos und Garia SL

Der Medienvergleich im Harttiefbohren zeigte, dass bei Verwendung des MMS-Mediums Garia der Verschleiß an der Rundphase (Abbildung 3, Nummer 1) deutlich ausgeprägter ist. Bei der Bohrer-
spitze hingegen sind keine Unterschiede zwischen Medien erkennbar (Abbildung 3, Nummer 2).

Eine entscheidende Beobachtung war jedoch, dass es bei großen thermischen Belastungen, also zum Beispiel bei Temperaturen in Höhe von mehr als 500 °C, trotz der hervorragenden Performance zum Teil zu spontanen Absprengungen im Bereich der Werkzeugschneide kam (Abbildung 3, Nummer 3). Als Anzeichen konnten dabei Mikrorisse sowie auch lokale farbliche Veränderungen der Werkzeugbeschichtung detektiert werden. Es ist anzunehmen, dass diese Phänomene nicht allein auf chemische Erodierprozesse (wie bei Säure oder Lauge) zurückzuführen sind. Die beobachteten, zum Teil massiven Mikrorissbildungen bei einigen Formulierungen deuten auch auf Einlagerung von Fremdatomen in das Werkzeugmaterial im Arbeitsprozess hin (bekanntes Beispiel ist die Wanderung von Zinkatomen in Wolframcarbid bei Anwendung von Zink haltigen Stoffen mit analogen Folgen). Auf Grund der Geschwindigkeit dieses Prozesses und da dies hauptsächlich bei wässrigen Systemen auftritt, liegt die Vermutung nahe, dass lokal an thermisch besonders beanspruchten Stellen Wasserstoff in das Werkzeugmaterial (Wolframcarbid in einer Co-Matrix) eingelagert wird und bei Abkühlen bzw. bei weiterer Beanspruchung zu Rissen und Absprengungen führt. Wasserstoff kann möglicherweise durch katalytische Thermolyse des Wasserdampfs an der Metalloberfläche entstehen. Dies wäre schon bei ca. 650 °C möglich, wenn eisenhaltige Verunreinigungen mitwirken. Dieses Problem konnten wir durch Formulierungsmaßnahmen deutlich verbessern.

Es ist bekannt, dass Sauerstoff im Bearbeitungsbereich erheblich den Verschleiß des Werkzeugs beeinflusst. Bei wässrigen Medien rückt dieser Aspekt besonders in den Vordergrund, was den Einsatz reduzierender Additive notwendig macht. Wir haben diesbezüglich mit Phosphonsäureestern insbesondere in Kombination mit wasserlöslichen und hydrolysestabilen Polymerestern optimale Ergebnisse erzielt. Darüber hinaus verhindert das reduzierende Reagenz Fleckenbildung bei manganhaltigen Legierungen.

Ein ganz wesentliches Problem bei spanenden Bearbeitungen, insbesondere mit Minimaleinsatz von Kühlmittel, ist die wirkungsvolle Reduzierung bzw. Ableitung der an den Bearbeitungsflächen auftretenden Temperaturen. In Testserien haben sich dabei einige stickstoffhaltige Moleküle als dafür geeignet herauskristallisiert, die bei ihrem thermischen Zerfall in der Lage sind, die Wärme sehr effektiv abzutransportieren. Allerdings setzt dieser Vorgang erst bei höheren Temperaturen ein, oft wenn bereits thermisch bedingte Schäden am Werkzeug eingetreten sind. Als Lösungswege wurde ein zweistufiges Kühlprinzip entwickelt, das bereits bei relativ niedrigen Temperaturen (ca. 110-150 °C) einsetzt. Es beruht im Wesentlichen auf der thermischen Trennung der an den Wirkstoffen noch bei diesen Temperaturen haftenden Hydrathüllen, wodurch letztlich Wärmeenergie übertragen und nach außen abtransportiert werden kann. Steigen die Temperaturen weiter an, erreicht dieses System auf Grund der bereits verdampften Hydratanteile die Bereiche am Werkzeug nicht mehr, an denen primär Reibwärme erzeugt wird. Dafür setzt das andere System ein und hält die Temperatur auf einem stabilen Niveau. Voraussetzung für die Wirksamkeit

des Gesamtprozesses ist, dass oxidative exotherme Vorgänge verhindert werden. Auf den Einsatz von Polymeren wurde dabei verzichtet, da diese zu Verkokungen neigen und nachweislich Einfluss auf nicht erwünschte und nicht kontrollierbare oxidative Reaktionen nehmen.

Der vorangehend beschriebene Einsatz von Hochsiedern beeinflusst aufgrund ihres niedrigen Dampfdrucks die Tröpfchengröße des Fluids. Im Rahmen des Vorhabens konnte dabei eine gleichmäßige Tröpfchenverteilung realisiert werden (mittlerer Größe), welche unter Blaulicht sichtbar ist. Die Größe der MMS-Aerosole beträgt zwischen 1 µm und 400 nm. Darauf aufbauend war die Abstimmung und Entwicklung des MMS-Systems von entscheidender Bedeutung. Eine wesentliche Entwicklungs herausforderung war dabei die gleichmäßige und kontinuierliche Förderung des MMS-Aerosols.

5 Bewertung der Vorhabenergebnisse und weiterer Forschungsbedarf

Zielstellung des Vorhabens war es, ein unter ökologischen Gesichtspunkten maßgeblich verbessertes und höchsten Ansprüchen genügendes Schmiermittel zu entwickeln, welches nicht kennzeichnungspflichtig, wasserbasiert und für spanende Verfahren einsetzbar ist. Des Weiteren sollte erstmalig der Einsatz eines wasserbasierten Bearbeitungsmittels für die innere Schmiermittelzufuhr realisiert werden. Es zeigte sich, dass das entwickelte High-Tech-Fluid eine hervorragende Performance gegenüber konventionellen MMS-Medien aufweist. Die bei der Durchführung des Vorhabens aufgetretenen Entwicklungs herausforderungen führten dabei zu hoch innovativen Lösungen im Bereich der Schmiermitteltechnik. Verdeutlicht werden kann dies beispielsweise mit Blick auf die realisierte zweistufige Kühlung. Diese absolute Marktneuheit ermöglicht eine definierte Temperatursteuerung im Bearbeitungsbereich, was die Standzeit der Werkzeuge deutlich verlängert.

Es gilt demnach festzuhalten, dass die ökologischen und technologischen Zielstellungen des Vorhabens vollumfänglich erfüllt wurden. Mit Abschluss des Vorhabens kann dabei ein leistungsfähiges und hoch funktionales MMS-Fluid am Markt angeboten werden, welches gegenüber konventionellen Medien über maßgebliche ökologische Vorteile verfügt. Der bislang erforderliche Einsatz von Mineralöl-Raffinate, Hydrocrackölen und synthetische Ölen kann infolgedessen substituiert werden.

Weiterhin ist es von entscheidender Bedeutung, dass unsere Innovationskompetenz und Vorreiterrolle mit Durchführung des Vorhabens weiter gestärkt wurde. Das entwickelte Fluid grenzt sich grundsätzlich von den bisherigen Lösungen am Markt ab und verfügt über erhebliche Vorteile. Dabei bietet insbesondere die Adaption des realisierten Wirkprinzips auf andere Anwendungsbe-

reiche wesentliche Forschungs- und Innovationsmöglichkeiten. Denkbar ist in diesem Zusammenhang unter anderem die Entwicklung eines Baukastensystems, welches es ermöglicht, dass das Fluid je nach Anwendungsbereich entsprechend zusammengestellt werden kann. Wie vorangehend im Rahmen der Entwicklungsherausforderung beschrieben müsste diesbezüglich die Herausforderung gelöst werden, dass bei ersten Versuchen in einem nicht geschlossenen Arbeitsraum die Tropfen vom Werkstück abprallen und somit keine Netzwirkung entfalten können. Des Weiteren besteht ein weiterer Forschungsansatz hinsichtlich der Einsatzmöglichkeit bei spanenden Hochtemperatur-Bearbeitungen. Beispielhaft zu nennen wären diesbezüglich unter anderem Keramikwerkstoffe bei Temperaturen zwischen 800 und 1000 °C.

6 Darstellung der wirtschaftlichen Verwertbarkeit

Der neu entwickelte High-Tech-Schmierstoff trägt dazu bei, zum einen den grundsätzlichen Anteil von MMS in der betrieblichen Praxis zu erhöhen und zum anderen ölbasierte MMS aufgrund der erreichten Leistungsparameter sowie der ökologischen Vorteilhaftigkeit zu substituieren. Der Kommunikations- und Vertriebsstrategie kommt hierbei eine entscheidende Bedeutung zu.

Der Marktzugang erfolgt aktuell durch den Einsatz des entwickelten Fluids bei Bestandskunden. Dabei erfüllte das entwickelte High-Tech-Fluid die kundenseitigen Anforderungen vollumfänglich. Zusätzlich zu den erzielten Werkzeugstandzeiten kommt insbesondere bei großvolumigen Bauteilen der Vorteil zum Tragen, dass die bearbeiteten Werkstücke aufgrund des rückstandsfreien Verdampfens des Fluids nicht nachträglich gereinigt werden müssen. Stand heute kann also festgehalten werden, dass die ersten Praxisanwendungen erfolgreich durchgeführt werden konnten und darauf aufbauend die weitere Markterschließung erfolgen kann. Angedacht bzw. bereits erfolgt sind diesbezüglich beispielsweise die folgenden Maßnahmen:

- Produktvorstellung auf der firmeneigenen Homepage (<https://www.hpntechnologie.de/de/schmierstoffe/samnos.html>; Produktname SAMNOS BREEZE)
- Vorstellung des entwickelten Fluids auf dem mav Informationsforum,
- Besuch von Fachmessen wie der AMB,
- Präsentation der Entwicklungsergebnisse im Verein „Zukunftsorientierte Zerspanung“,
- Darstellung der Entwicklungsergebnisse und Möglichkeiten in Fachzeitschriften wie beispielsweise der „maschine + werkzeug“.

Mit Blick auf die wirtschaftliche Verwertung des Vorhabens ist die Direktansprache potenzieller Kunden von entscheidender Bedeutung. Dabei besteht von Seiten zahlreicher Industrieunternehmen bereits großes Interesse, sodass wir mit einer schnellen Etablierung des entwickelten Fluids im Markt rechnen. Bei den bisherigen Produktpräsentationen konnte diesbezüglich bereits eine große kundenseitige Akzeptanz festgestellt werden, wobei die Etablierung und Verbreitung des Produkts eng mit entsprechenden Multiplikatoreffekten einhergeht, welche mit Blick auf die Umweltrelevanz des Fluids ökologisch von entscheidender Bedeutung sind.

7 Fazit

Die zentrale Zielstellung, ein wasserbasiertes und nicht kennzeichnungspflichtiges High-Tech-Fluid zu entwickeln, wurde im Rahmen des Vorhabens vollumfänglich erfüllt. Die Anwendungsversuche unter Laborbedingungen sowie die Testreihen bei ausgewählten Kunden im Anwendungsbetrieb bestätigten dabei die bereits sehr gute Performance des Fluids sowie die Vorteilhaftigkeit gegenüber konventionellen Schmiermitteln. Die wesentlichen Entwicklungs Herausforderungen resultierten dabei insbesondere hinsichtlich der angestrebten Schmier- und Kühlwirkung. Im Rahmen des Vorhabens konnten dabei hoch innovative Lösungsansätze realisiert werden, welche im Bereich der Schmiermitteltechnik neue Maßstäbe setzen. Beispielhaft zu nennen ist diesbezüglich unter anderem die zweistufige Kühlwirkung sowie die hierbei ermöglichte, definierte Temperatursteuerung.

Aufgrund des Innovationsgrads und der ökologischen Vorteilhaftigkeit des Vorhabens ist die Verwertung der Entwicklungsergebnisse aus unserer Sicht von entscheidender Bedeutung. Um einen möglichst breiten Anwendungsbereich abdecken zu können, soll das entwickelte Fluid auf weitere Zerspanungsverfahren, also beispielsweise Dreh- und Fräsprozesse, adaptiert werden. Des Weiteren soll überprüft werden, inwiefern eine weitere Performancesssteigerung des Schmiermittels erzielt werden kann.