

# Wirkmechanismen, Eigenschaften und Leistungsfähigkeit mikrobiell basierter Kühlschmierstoffe in der spanenden Fertigung

Vom Fachbereich Produktionstechnik  
der  
UNIVERSITÄT BREMEN

zur Erlangung des Grades  
Doktor-Ingenieur  
genehmigte

Dissertation  
von  
M. Sc. Marvin Redetzky

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. h.c. Dr.-Ing. E.h. E. Brinksmeier,  
Universität Bremen

Prof. Dr.-Ing. C. Herrmann,  
Technische Universität Braunschweig

Tag der mündlichen Prüfung: 14. November 2017

## Inhaltsverzeichnis

Formelverzeichnis .....	iv
Abkürzungsverzeichnis .....	vi
1 Einleitung .....	1
2 Stand der Technik und wissenschaftlichen Kenntnisse .....	4
2.1 Tribologische Bedingungen in der Metallbearbeitung .....	4
2.2 Kühlschmierstoffe .....	7
2.2.1 Einteilung, Zusammensetzung und Anforderungen .....	7
2.2.2 Kühlschmierstoffe in der Fertigung .....	14
2.3 Mikroorganismen in Kühlschmierstoffen .....	17
2.3.1 Mikroorganismen und deren Zellbestandteile .....	17
2.3.2 Biofilme .....	20
2.3.3 Beeinflussung der KSS-Chemie durch Mikroorganismen .....	22
2.4 Gezielter Einsatz von Mikroorganismen in der Fertigung .....	28
2.4.1 Mikroorganismen als Leitkeim .....	28
2.4.2 Biomachining .....	28
2.5 Fazit zum Stand der Technik und der wissenschaftlichen Kenntnisse .....	30
3 Zielsetzung und methodische Vorgehensweise .....	31
4 Versuchstechnik .....	36
4.1 Versuchsmaschinen und Geräte .....	36
4.1.1 Werkzeugmaschinen .....	36
4.1.2 Tribotester für tribologische Modellversuche .....	36
4.1.3 Bead-Beater zur gezielten Herbeiführung eines Zellaufschlusses .....	37
4.2 Mess- und Analysegeräte .....	38
4.2.1 Aufbau zur Ermittlung der Zerspankräfte .....	38
4.2.2 Auswertung der tribologischen Modellversuche und des Werkzeugverschleißes .....	38
4.2.3 Bestimmung der Oberflächentopographie .....	39
4.2.4 Analyse der Mikroorganismenspezies .....	39
4.2.5 Ermittlung der Zellzahl und des Zellvolumens .....	40
4.2.6 Untersuchung mikrobieller Speicherstoffe und der Feinstruktur der Zellen .....	41
4.2.7 Partikelgrößenbestimmung .....	41
4.2.8 Untersuchung der Stabilität mikrobiell basierter KSS .....	41
4.2.9 Kühlschmierstoffüberwachung .....	42
5 Werkstoff sowie mikrobiell basierte und konventionelle KSS .....	44
5.1 Wälzlagerstahl 100Cr6 .....	44
5.2 Versuchsorganismen .....	44

5.3 Kommerzieller KSS und verwendeter Korrosionsschutz.....	51
6 Tribologische Modellversuche zur Analyse der Eigenschaften und Wirkmechanismen mikrobiell basierter KSS .....	53
6.1 Tribologische Untersuchungen zur Validierung des Testsystems und zur Analyse der Einflussgrößen .....	54
6.1.1 Modifizierung des Brugger-Tribotesters .....	54
6.1.2 Der Einfluss der Wasserhärte .....	56
6.1.3 Der Einfluss des verwendeten Nährmediums .....	58
6.1.4 Abschätzung der während der tribologischen Modellversuche auftretenden Temperaturen .....	59
6.2 Einflussgrößen und mögliche Wirkmechanismen mikrobiell basierter KSS .....	61
6.3 Verifizierung bzw. Falsifizierung der Hypothese zu den Wirkmechanismen der Mikroorganismen .....	64
6.3.1 Der Einfluss der Zellzahl und des Zellvolumens .....	64
6.3.2 Der Einfluss mikrobieller Mischkulturen .....	69
6.3.3 Der Einfluss der Zellmorphologie und der Zellstruktur .....	73
6.3.4 Der Einfluss des tribologischen Modellversuchs auf die Zellintegrität .....	74
6.3.5 Der Einfluss der von Mikroorganismen gebildeten Speicherstoffe .....	77
6.3.6 Der Einfluss extrazellulärer polymerer Substanzen .....	82
6.4 Fazit der tribologischen Modellversuche .....	85
7 Stabilität mikrobiell basierter Kühlschmierstoffe.....	87
7.1 Langzeituntersuchungen von Mikroorganismen im geschlossenen System .....	87
7.2 Langzeituntersuchungen mikrobiell basierter KSS im offenen System .....	89
7.2.1 Langzeituntersuchungen - konventioneller Referenzkühlschmierstoff.....	89
7.2.2 Langzeituntersuchungen - <i>Meyerozyma guilliermondii</i> .....	93
7.2.3 Langzeituntersuchungen - <i>Micrococcus luteus</i> .....	95
7.2.4 Langzeituntersuchungen - <i>Pseudomonas oleovorans</i> .....	97
7.2.5 Langzeituntersuchungen - <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	100
7.3 Fazit der Langzeituntersuchungen .....	102
8 Übertragung der tribologischen Untersuchungen auf die Werkzeugmaschine .....	104
8.1 Einsatz mikrobiell basierter KSS bei den Verfahren Bohren, Reiben und Gewindeformen .....	104
8.1.1 Einsatz mikrobiell basierter KSS beim Bohren.....	108
8.1.2 Einsatz mikrobiell basierter KSS beim Reiben .....	113
8.1.3 Einsatz mikrobiell basierter KSS beim Gewindeformen .....	116
8.1.4 Zusammenfassendes Fazit zum Einsatz mikrobiell basierter KSS bei der Prozesskette der Gewindeherstellung .....	118
8.2 Leistungsfähigkeit mikrobiell basierter KSS bei der Fräsbearbeitung .....	119

8.2.1 Zusammenfassendes Fazit zum Einsatz mikrobiell basierter KSS im Fräsprozess .....	125
8.3 Fazit zur Übertragung tribologischer Modellversuche auf die Werkzeugmaschine .....	126
9 Zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse .....	127
10 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf .....	133
11 Literaturverzeichnis .....	136