

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	I
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	V
CHEMISCHES FORMELVERZEICHNIS.....	X
1 EINLEITUNG	1
1.1 Biogene Schmierstoffe.....	1
1.1.1 Marktentwicklung und Potential	2
1.1.2 Klassifizierung von Hydraulikölen	3
1.2 Schmierstoffsynthese aus nachwachsenden Rohstoffen.....	6
1.3 Alterungsverhalten biogener Schmierstoffe	9
1.3.1 Oxidative Reaktionen	10
1.3.2 Chemische Kennzahlen	11
1.4 Einsatz biogener Schmierstoffe im tribologischen System	12
1.5 Bewertung der Umweltverträglichkeit von Schmierstoffen	15
1.5.1 Umweltaspekte	15
1.5.2 Umweltzeichen.....	17
1.6 Rechtliche Grundlagen.....	20
1.6.1 EU-Chemikalienverordnung REACH	20
1.6.2 Einstufungs- und Kennzeichnungssystem nach GHS	22
1.6.3 Nationale Gesetze	23
1.7 Life Cycle Assessment biogener Schmierstoffe	27
1.8 Zielsetzung	29
2 MATERIAL UND METHODEN.....	31
2.1 Kodierung und Charakterisierung der biogenen Schmierstoffe	31
2.1.1 Schmierstoffsynthese aus nachwachsenden Rohstoffen	31
2.1.2 Life Cycle Assessment einfacher synthetischer Ester	32
2.1.3 Life Cycle Assessment einer komplexen Ester-Mischung	32
2.2 Testverfahren zur Untersuchung des Alterungsverhaltens.....	33
2.2.1 Oxidationstest	33
2.2.2 Alterungsprüfstand I.....	34
2.2.3 Alterungsprüfstand II.....	36

2.3	Probenaufbereitung von Schmierstoffen für den Einsatz in biologische Testverfahren unter Anwendung des Water Soluble Fraction (WSF)-Konzepts	37
2.3.1	WSF mit einer Konzentration von 100 mg/l.....	37
2.3.2	WSF mit einer Konzentration von 100 g/l.....	37
2.3.3	WSF mit einzeln eluierten Konzentrationen	38
2.4	Biologische Testverfahren zur Erfassung des ökotoxischen Potentials.....	38
2.4.1	Algen-Wachstumshemmtest in 24-Well-Mikrotiterplatten.....	38
2.4.2	Daphnien-Immobilisationstest	42
2.4.3	Lumineszenz-Hemmtest.....	43
2.4.4	Zellvermehrungshemmtest mit <i>Vibrio fischeri</i> und <i>Pseudomonas putida</i>	45
2.4.5	Fischeitest mit <i>Danio rerio</i>	47
2.4.6	Auswertung mit ToxRat®	49
2.5	Biologische Testverfahren zur Erfassung des genotoxischen und mutagenen Potentials.....	49
2.5.1	umu-Test	49
2.5.2	Ames-Fluktuationstest	53
2.6	Analytische Testverfahren	59
2.6.1	Bestimmung der aeroben biologischen Abbaubarkeit	59
2.6.2	Elementaranalyse.....	61
2.6.3	Bestimmung des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC).....	62
2.6.4	Bestimmung des Metallgehaltes mittels ICP-MS	63
3	ERGEBNISSE.....	65
3.1	Schmierstoffsynthese aus nachwachsenden Rohstoffen.....	66
3.1.1	Pflanzliche Edukte (HOSO) zur Synthese nieder- und hochviskoser Schmierstoffe	66
3.1.2	Verkürzung der Reaktionszeit des niederviskosen Schmierstoffes	68
3.1.3	Reproduzierbarkeit nieder- und hochviskoser Schmierstoffe für Produktgemische	72
3.1.4	Grundlage für Produktgemische: Vergleich von WSF mit einer Konzentration von 100 g/l und einzeln eluierten Konzentrationen	76
3.1.4.1	Vergleich der EL ₅₀ -Werte	77
3.1.4.2	Vergleich der Dosis-Wirkungskurven.....	78
3.1.4.3	Vergleich der LL ₅₀ -Werte im Fischeitest	79

3.2	Life Cycle Assessment einfacher synthetischer Ester.....	81
3.2.1	Alterungsverhalten durch oxidative Prozesse.....	81
3.2.1.1	Natürliche Oxidation durch Lagerung.....	81
3.2.1.2	Künstliche Oxidation im Oxidationstest.....	88
3.2.2	Alterungsverhalten durch tribologische Anwendung im Alterungsprüfstand I.....	92
3.2.2.1	Konventionelles Tribosystem: Stahl-Messing-Paarung	92
3.2.2.2	Umweltfreundliches Tribosystem: Stahl-ZrC _g -Paarung	100
3.3	Life Cycle Assessment einer komplexen Ester-Mischung.....	105
3.3.1	Alterungsverhalten durch oxidative Prozesse.....	105
3.3.1.1	Natürliche Oxidation durch Lagerung.....	105
3.3.1.2	Künstliche Oxidation im Oxidationstest.....	108
3.3.2	Alterungsverhalten durch tribologische Anwendung im Alterungsprüfstand II.....	111
3.3.2.1	Untersuchung von WSF mit einer Konzentration von 100 g/l.....	111
3.3.2.2	Untersuchung von WSF mit einzeln eluierten Konzentrationen	116
4	DISKUSSION.....	121
4.1	Schmierstoffsynthese aus nachwachsenden Rohstoffen.....	121
4.1.1	Die Verwendung pflanzlicher Edukte (HOSO).....	121
4.1.2	Auswirkungen der Reaktionszeitverkürzung.....	122
4.1.3	Reproduzierbarkeit der Schmierstoffsynthese	124
4.1.4	Bewertung des WSF-Konzepts für Produktgemische	125
4.2	Life Cycle Assessment einfacher synthetischer Ester.....	127
4.2.1	Bewertung des Alterungsverhaltens durch oxidative Prozesse.....	127
4.2.2	Bewertung des Alterungsverhaltens durch tribologische Anwendung	130
4.2.2.1	Einfluss des Gebrauchs auf die Ökotoxizität der WSF	132
4.2.2.2	Einflussfaktoren auf die Bioverfügbarkeit der Schmierstoffbestandteile	134
4.3	Life Cycle Assessment einer komplexen Ester-Mischung.....	136
4.3.1	Bewertung des Alterungsverhaltens durch oxidative Prozesse.....	137
4.3.2	Eignung des WSF-Konzepts zur Bewertung von Schmierstoffen nach tribologischer Anwendung	138
4.4	Ableitung eines Untersuchungskonzepts für biogene Hydraulik-Schmierstoffe	141
5	ZUSAMMENFASSUNG	147
6	LITERATURVERZEICHNIS.....	149

7 ANHANG.....	163
7.1 Schmierstoffsynthese aus nachwachsenden Rohstoffen.....	163
7.2 Life Cycle Assessment einfacher synthetischer Ester.....	165
7.3 Life Cycle Assessment einer komplexen Ester-Mischung.....	182
8 TABELLENVERZEICHNIS	195
9 ABBILDUNGSVERZEICHNIS	203
10 PUBLIKATIONSVERZEICHNIS	209