

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