Life Cycle Assessment der alterungsbedingten Umweltverträglichkeit biogener Hydraulik-Schmierstoffe

Von der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften
der RWTH Aachen University zur Erlangung des akademischen Grades einer Doktorin
der Naturwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Diplom-Biologin
Jana Bressling

aus Wolfen

Berichter: Universitätsprofessor Dr. rer. nat. Wolfgang Dott
Universitätsprofessor Dr. rer. nat. Henner Hollert

Tag der mündlichen Prüfung: 24.01.2012

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Hochschulbibliothek online verfügbar.

Akademische Edition Umweltforschung

Publikationsreihe des interdisziplinären
Umwelt-Forums der RWTH Aachen

Band 50/2012

Jana Bressling

Life Cycle Assessment der alterungsbedingten Umweltverträglichkeit biogener Hydraulik-Schmierstoffe

Herausgeber:
Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Dott
Institut für Hygiene und Umweltmedizin

Shaker Verlag
Aachen 2012

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2012)

Copyright Shaker Verlag 2012
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0968-2
ISSN 1437-532X

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Meinem Liebsten

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 *Vibrio fischeri* und *Pseudomonas putida* 45

2.4.5 Fischeitest mit *Danio rerio* 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