

Gesellschaft für Tribologie	<b>Pflanzenöle als Schmierstoffe</b>	<b>GfT- Arbeitsblatt 4</b>
-----------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------

**Inhalt**

	Seite
1 Einführung .....	2
2 Chemischer Aufbau von Pflanzenölen .....	3
2.1 Triglyceride .....	3
2.2 Wachse .....	3
3 Eignung von Pflanzenölen als Schmierstoff .....	3
3.1 Chemisch-physikalische Daten von Pflanzenölen .....	3
3.2 Dichtungs- und Farbverträglichkeit .....	6
3.3 Möglichkeiten der Additivierung von Rapsöl .....	6
3.4 Modifikationen von Pflanzenölen .....	7
4 Umweltverträglichkeit von Pflanzenölen .....	8
4.1 Grundsätzliche Aspekte .....	8
4.2 Umweltzeichen für umweltverträgliche Schmierstoffe .....	8
4.3 Biologische Abbaubarkeit .....	9
5 Einsatzgebiete von Pflanzenölen als Schmierstoffe .....	11
5.1 Verlustschmierstoffe und verwandte Produkte .....	12
5.1.1 Sägekettenöle .....	12
5.1.2 Weichen- und Schienenschmierstoffe .....	13
5.1.3 Schmierfette .....	13
5.1.4 Drahtseilschmierstoffe .....	13
5.1.5 Schmierstoffe für offene Getriebe .....	13
5.1.6 Schmierstoffe für Druckluftwerkzeuge .....	13
5.1.7 Zweitaktmotorenöle .....	13
5.1.8 Korrosionsschutzstoffe .....	14
5.1.9 Formentrennmittel (Schalöle) .....	14
5.2 Umlaufschmierstoffe und Kraftübertragungsöle .....	14
5.2.1 Hydraulik- und Stoßdämpferöle .....	14
5.2.2 Getriebeöle .....	15
5.2.3 Bettbahnöle .....	15
5.3 Sonderanwendungen .....	15
5.3.1 Kühlschmierstoffe .....	15
6 Entsorgung von Pflanzenölen .....	16
6.1 Grundsätzliches .....	16
6.2 Rechtliche Fragen .....	16
6.3 Entsorgungsmöglichkeiten .....	17
7 Literaturhinweise .....	18
8 Bearbeiter .....	20

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Gesellschaft für Tribologie e.V., Moers, gestattet.

## 1 Einführung

Seit etwa 15 Jahren ist man sich bewußt, daß mit dem Einsatz von Mineralöl-Schmierstoffen Risiken für die Umwelt verbunden sind. Die Umweltgefährdung geht dabei nicht so sehr von den 50 % der Schmierstoffe aus, die in Deutschland als Altöl einer geordneten Entsorgung zugeführt werden, sondern überwiegend von der Hälfte, die im Einsatz verbraucht wird und zum großen Teil als Frischöl oder in veränderter Form in die Umwelt zurückkehrt. In dieser nicht als Altöl gesammelten Menge stecken die Verlustschmierstoffe (ca. 40 - 50.000 Tonnen pro Jahr), die Restölmengen aus mindestens ca. 90 Millionen Ölgebinden und 20 Millionen Ölfiltren, Verluste aus Leckagen und Umfüllvorgängen, Abblasmengen aus Selbstwechslervorgängen, Tropfverluste bei Kupplungsvorgängen von Hydraulikverbindungen (nach ISO 5675 dürfen 2,5 ml Hydraulikflüssigkeit je Trennvorgang austreten), die bei Unfällen auslaufenden Schmier- und Hydrauliköle und kohlenwasserstoffhaltigen Emissionen aus Kraftfahrzeugen.

Obwohl Mineralölkohlenwasserstoffe durch überall in der Natur vorkommende Mikroorganismen relativ schnell biologisch abgebaut werden können, wenn Sauerstoff und Nährstoffe vorhanden sind /1/, liegen in vielen Fällen Gründe dafür vor, daß biologisch schneller abbaubare Schmierstoffe einen deutlichen Beitrag zu einer Entlastung der Umwelt leisten können /2/. In Labortests wurden neben Polyethylenglykol und einer Reihe von synthetischen Di-, Tri- und Tetraestern verschiedene natürliche Öle als Flüssigkeitstypen für Schmierstoffe gefunden, bei denen die Geschwindigkeit des biologischen Abbaus wesentlich höher ist als bei Mineralölen /3/.

Von den natürlichen Ölen bilden die Pflanzenöle die wichtigste Gruppe von biologisch schnell abbaubaren Grundölen für Schmierstoffe. Die Produktion weltweit erreicht etwa 60 Millionen Tonnen /4/, siehe Tabelle 1.

**Tabelle 1. Weltproduktion Pflanzenöle**

	1975 Mio t	1990 Mio t	Anstieg %
Sojaöl	9,7	15,9	64
Palmöl	3,0	10,0	233
Sonnenblumenöl	4,0	7,4	85
Rapsöl	2,7	6,7	148
Andere	14,6	19,0	30
<b>Gesamt</b>	<b>34,0</b>	<b>59,0</b>	<b>73</b>

Das wichtigste Pflanzenöl aus dem Anbau in der Bundesrepublik ist das Rapsöl, von dem 1984 437.000 Tonnen gewonnen wurden. Hiervon sind nur 20.000 Tonnen für technische oder pharmazeutische Zwecke eingesetzt worden, der Rest diente der Nahrungs- und Futtermittelgewinnung oder wurde exportiert /5/. Bevor Rapsöl für Schmierzwecke eingesetzt werden kann, muß es von unerwünschten Begleitstoffen (freien Fettsäuren, Phosphatiden, Eiweiß, Kohlehydraten, Wachsen, Farbstoffen, Tocopherolen, Glucosinoleaten usw.) befreit (raffiniert) werden. Im Februar 1992 kostete raffiniertes Rapsöl 0,80 bis 0,90 DM / Liter /6/. Ohne Subventionen würde sich der Preis mehr als verdoppeln /7/, da die Subventionen 3.000 DM / ha betragen. Auf einem Hektar werden 3 bis 3,5 Tonnen Raps geerntet /8/, aus denen 1,2 bis 1,4 Tonnen Rapsöl gewonnen werden können. Über den Aspekt der schnelleren biologischen Abbaubarkeit hinaus bietet der Einsatz von Schmierstoffen auf Pflanzenölbasis weitere Vorteile gegenüber dem Verbrauch von Mineralölen:

- Das beim aeroben biologischen Abbau oder bei der Verbrennung von Pflanzenöl freiwerdende Kohlendioxid leistet keinen Beitrag zum sog. „Treibhauseffekt“, da die gleiche Menge Kohlendioxid zur Neubildung von Pflanzen verbraucht wird.
- Durch den vermehrten Anbau von Raps zur Gewinnung von Rapsöl für technische Zwecke eröffnen sich für die Landwirtschaft neue Märkte.
- Die Gewinnung von Schmierölen aus einheimischen und wiedergewinnbaren Rohstoffen trägt zur Ressourcenschonung beim Erdöl und zu einem verringerten Devisenaufwand bei.

Als Nachteile müssen in Kauf genommen werden:

- Oxidative, hydrolytische und thermische Stabilität der Pflanzenöle ist für einen Einsatz in Umlaufschmieranlagen nicht ausreichend.
- Umweltverträgliche Hochleistungs-Additive für Pflanzenöle sind bisher nur unzureichend entwickelt.
- Gegen Monokulturen von Raps werden gelegentlich Bedenken erhoben.
- Bei der Düngung von Rapsfeldern wird nach Angaben des Umweltbundesamtes 2 bis 3 % des eingebrachten Stickstoffes in Distickstoffmonoxid umgewandelt, das 300 mal stärker zum Treibhauseffekt beiträgt als die gleiche Menge Kohlendioxid.

Bei den folgenden Ausführungen ist zu bedenken, daß der Einsatz von Pflanzenölen für Hochleistungsschmierstoffe ein neues Verwendungsgebiet darstellt. Deshalb befinden sich viele Entwicklungen in einem mehr oder weniger fortgeschrittenen Stadium und können wegen der Vertraulichkeit nur lückenhaft beschrieben werden. Es ist auch möglich, daß durch neue Modifikationen von Pflanzenölen und/oder wirksamere Additive unerwartete Anwendungen gefunden werden.

## 2 Chemischer Aufbau von Pflanzenölen

Pflanzenöle sind fast ausnahmslos aus Triglyceriden aufgebaut, d. h. Verbindung, in denen der dreiwertige Alkohol Glycerin mit drei Fettsäuren verestert ist. In geringen Mengen liegen in ihnen auch Mono- und Diglyceride. Vereinzelt findet man in der Natur Pflanzenöle, in denen die Fettsäuren mit längerkettigen einwertigen Alkoholen verestert sind (Wachse).

### 2.1 Triglyceride

Die chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften der Pflanzenöle werden im wesentlichen durch die Art der Fettsäurekomponenten bestimmt. In den Pflanzenölen findet man überwiegend geradzahlige, geradkettige aliphatische Monocarbonsäuren mit Kettenlängen von  $C_4$  bis  $C_{24}$ , hauptsächlich  $C_{16}$  und  $C_{18}$ . Ein Teil der Fettsäuren in den Pflanzenölen enthält eine oder mehrere Doppelbindungen.

Die Fettsäuren der meisten pflanzlichen Öle bestehen zum überwiegenden Teil aus Palmitin-, Öl- und Linolsäure.

Tabelle 2 zeigt die prozentuale Zusammensetzung der Fettsäuren von Pflanzenölen, die als Schmierölkomponenten in Frage kommen /10/.

Durch selektive Züchtungsverfahren kann man die Zusammensetzung der Fettsäuren in einem Pflanzenöl verändern. So enthielt das klassische Rapsöl bis zu 50 % Erucasäure ( $C_{22}/1$ ) und einen relativ hohen Anteil an Glucoseinolat. Beide Bestandteile beeinträchtigen die Verwertung als Futtermittel. Neuzüchtungen führten zu fast erucasäurefreiem Rapsöl, das nur noch 10 % des ursprünglichen Glucosinolat enthält (Lesira-Typ). Seit 1977 ist der Gehalt an Erucasäure im Rapsöl auf höchstens 5 % begrenzt /11/.

### 2.2 Wachse

Die einzige Nutzpflanze, die flüssige Wachse in ihren Samen produziert, ist der Jojoba-Strauch, der in ariden Gebieten gedeiht. Das Jojoba-Öl besteht im wesentlichen aus einfach ungesättigten Estern aus  $C_{20}$  bis  $C_{22}$  Alkoholen und Fettsäuren. Eine typische Verteilung enthält 1 % C-36-Ester, 6 % C-38-Ester, 31 % C-40-Ester, 50 % C-42-Ester, 8 % C-44-Ester und 1 % C-46-Ester. Der Gehalt an Triglyceriden liegt unter 2 % /12/. Die Doppelbindung im Molekül liegt fast ausschließlich zwischen dem 9. und 10. Kohlenstoffatom /13/.

## 3 Eignung von Pflanzenölen als Schmierstoff

### 3.1 Chemisch-physikalische Daten von Pflanzenölen

An einen Ester, der als Grundöl für Schmierstoffe dienen soll, werden eine Reihe von physikalischen und chemischen Anforderungen gestellt. Zu den wichtigsten Stoffeigenschaften zählen:

- Viskositätsbereich bei 40 °C von rund 25 mm<sup>2</sup>/s oder höher.
- Ausreichendes Viskositäts-Temperatur-Verhalten (Viskositäts-Index über 80).
- Annehmbares Kälteverhalten (Erstarrungspunkt unter 0 °C).
- Geringe Verdampfungsneigung (Flammpunkt über 150 °C).
- Befriedigende Alterungsstabilität (Jodzahl unter 80 g/100 g).
- Möglichst geringe Reaktion mit Wasser (Verseifungszahl unter 20 mg KOH/g).

Die angegebenen Zahlen sind Richtwerte, und die Methoden stellen nur erste Auswahlkriterien dar. Bei einer genaueren Untersuchung müssen der Katalog erweitert und die Methoden differenziert werden. In Tabelle 3 sind die wichtigsten Daten von Pflanzenölen gemeinsam mit Jojobaöl und einem typischen Mineralölraffinat zusammengestellt /14/.

Tabelle 2. Fettsäure-Zusammensetzung von Pflanzenölen

	Laurin <sup>1)</sup> C12/O <sup>2)</sup>	Myristin C14/O	Palmitin C16/O	Stearin C18/O	Öl C18/1 <sup>3)</sup>	Linol C18/2 <sup>3)</sup>	Linolen C18/3 <sup>3)</sup>	Rizinol C18/1, OH
Baumwollsaatöl	—	2	16 - 27	2 - 3	22 - 35	40 - 52	—	—
Kokosöl	58 - 63	13 - 90	8 - 9	2 - 3	5 - 8	1 - 3	—	—
Leinöl	—	—	6 - 7	3 - 5	20 - 26	14 - 20	51 - 54	—
Olivenöl	—	—	7 - 16	1 - 3	64 - 86	4 - 15	1	—
Palmkernöl	54 - 59	16	6 - 9	2 - 3	10 - 18	1 - 3	—	—
Palmöl	—	1 - 2	40	4 - 6	38 - 41	8 - 12	—	—
Rapsöl	—	—	4	1 - 2	60	20	8	—
Rizinusöl	—	—	—	1 - 3	2 - 3	3 - 5	—	87 - 91
Sojaöl	—	—	7 - 10	3 - 5	22 - 31	49 - 55	6 - 11	—
Sonnenblumenöl	—	—	4 - 9	3 - 6	14 - 35	50 - 75	—	—

<sup>1)</sup> = und niedriger<sup>2)</sup>/O = ohne Doppelbindung<sup>3)</sup>/1,2,3 = 1, 2, 3 Doppelbindungen

Tabelle 3. Kennzahlen für Schmierstoffreinigung

	Viskosität bei 40 °C mm <sup>2</sup> /s	Viskositäts- Index	Erstarrungs- punkt °C	Flammpunkt °C	Jodzahl g/100 g	Verseifungszahl mg KOH/g
Baumwollsaatöl	—	—	0 bis +4	—	100 - 117	190 - 198
Kokosöl	—	—	+22 bis +25	—	7 - 10	250 - 262
Olivenöl	32	—	+4 bis -6	—	80 - 85	185 - 196
Palmkernöl	—	—	+23 bis +30	—	14 - 20	242 - 254
Palmöl	—	—	+30 bis +37	—	44 - 58	195 - 205
Rapsöl	34	214	-4 bis -12	318	94 - 106	174 - 182
Rizinusöl	232	—	-12 bis -18	—	82 - 90	177 - 187
Sojaöl	28	—	-8 bis -16	—	103 - 109	188 - 195
Sonnenblumenöl	28	—	-16 bis -18	—	127 - 136	188 - 194
Jojobaöl	25	190 - 230	+9 bis +15	295	80 - 85	90 - 95
Mineralölraffinat	30	105	-10	215	< 0,01	< 0,01

Aus Tabelle 3 erkennt man die grundsätzlichen Vor- und Nachteile der Triglyceride als Schmierstoffgrundöle:

- Sie haben eine passende Viskosität und ein ausgezeichnetes Viskositäts-Temperatur-Verhalten ( $VI > 200$ ).
- Das Kälteverhalten ist bei Pflanzenölen mit einem hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren gut, verschlechtert sich aber rasch mit der Zunahme des Gehalts an gesättigten Fettsäuren. Zum Beschreiben des Kälteverhaltens bei Rapsöl eignet sich der bei Mineralölen übliche Pourpoint nicht, weil die Erstarrung bei Temperaturabsenkung relativ langsam erfolgt. Deshalb müssen „Langzeitkälte-tests“, z. B. 7 Tage bei  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , herangezogen werden /15/.
- Ihre Verdampfungsneigung ist gering, wie sich aus dem relativ hohen Flammpunkt ergibt.
- Die hohen Jodzahlen weisen auf den großen Anteil an ungesättigten Verbindungen hin, die rasch mit Sauerstoff reagieren können und so eine unbefriedigende Alterungsstabilität bedingen. Eine grobe Einteilung besagt, daß trocknende Öle Jodzahlen über 130 besitzen, halbtrocknende solche zwischen 95 und 130 und nicht-trocknende Öle unter 95 liegen. Je niedriger die Jodzahl eines Fettöles ist, desto höher ist seine Stabilität gegen Oxidation und Polymerisation. Eine Erniedrigung der Jodzahl durch Absättigen der Doppelbindungen mit Wasserstoff (Hydrieren) scheidet aus, weil sich dann das Kälteverhalten dramatisch verschlechtert und unter Umständen bei Raumtemperatur feste Produkte entstehen.
- Die große Anzahl von Estergruppen im Molekül ist an der hohen Verseifungszahl zu erkennen. Da bei den Glycerinestern die Estergruppe nicht geschützt ist, läßt sie sich bei erhöhter Temperatur bereits durch Wasser spalten (Hydrolyse) und führt so zu einer Zerstörung des Moleküls.
- Die im Glycerinmolekül vorliegende  $-\text{CH}-$ Gruppe in  $\beta$ -Stellung ist neben einer Estergruppierung gegen thermische Beanspruchung besonders anfällig. Wie aus Bild 1 hervorgeht, bilden sich bei der Zersetzung neben Doppelbindungen freie Säuren. Beide Komponenten sind in Schmierstoffen unerwünscht.

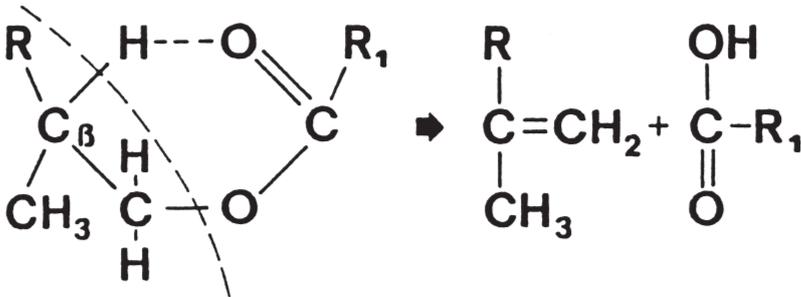


Bild 1. Oxidativer Abbau von Estern

Zusammenfassend kann man feststellen, daß sich Triglyceride wie Rapsöl als Grundöl für Schmierstoffe eignen, wenn man sich anwendungstechnisch auf Einsatzfälle beschränkt, bei denen die mangelnde Oxidations- und Hydrolysestabilität keine ausschlaggebende Rolle spielt oder wenn es gelingt, durch geeignete Wirkstoffe (Additive) diese Nachteile zu überwinden und andere Eigenschaften zu verbessern. Beim Jojobaöl sind die Schwachstellen bis auf das Kälteverhalten deutlich weniger ausgeprägt. Allerdings verhindert der etwa zehnfach höhere Preis einen Einsatz als Grundöl für Schmierstoffe. Nur niedrigmolekulare Triglyceride sind einigermaßen hydrolysestabil /16/.

### 3.2 Dichtungs- und Farbverträglichkeit von Rapsöl

Dichtungen dürfen im Kontakt mit dem Schmierstoff auch bei erhöhten Betriebstemperaturen nur wenig quellen, verhärten, schrumpfen oder erweichen. Die Dichtungshersteller haben eine Reihe von ausgezeichneten und weitgehend mineralölbeständigen Sorten aus Elastomertypen entwickelt.

Da die Einsatztemperaturen bei Verwendung von Rapsöl nach oben begrenzt sind, ist der Einbau von Hochtemperatur-Elastomeren wie H-NBR (Acryl-Butadien-Kautschuk, carboxyliert) oder FPM (Fluor-Kautschuk) nicht erforderlich. Übliches NBR (Acryl-Butadien-Kautschuk) ist Pflanzenölen gegenüber ausreichend beständig /17/. Normale Polyurethanwerkstoffe (AU) werden durch Fettsäuren zersetzt, die bei der Hydrolyse von Rapsöl entstehen. Inzwischen sind hochhydrolysefeste Polyurethanformulierungen (H-AU) auf dem Markt, die diese Nachteile vermeiden /18/. Es wird jedoch empfohlen, vor dem Einsatz von Pflanzenölen mit dem Dichtungshersteller Kontakt aufzunehmen und einige Vorversuche durchzuführen /19/.

Herkömmliche Maschinenlacke versagen im allgemeinen schnell bei der Beanspruchung durch Pflanzenöle. Beständig sind Einbrennlackierungen, lösemittelfreie Zweikomponenten-Epoxidsysteme und anorganische Zinksilikate. Auch spezielle lösemittelarme Epoxidharze in Mehrfachbeschichtung mit geeigneter Grundierung haben sich bei Rapsöl bewährt /20/.

### 3.3 Möglichkeiten der Additivierung von Rapsöl

Durch die Zugabe von Wirkstoffen sollen bestehende Eigenschaften verbessert werden, Kälteverhalten, und Eigenschaften erreicht werden, die das Basisöl vorher nicht besaß, z. B. Hydrolysebeständigkeit. Zu beachten ist, daß die Löslichkeit mancher Wirkstoffe und das Ansprechen auf bestimmte Additive von Rapsölsorte zu Rapsölsorte unterschiedlich sein kann, und deshalb in Einzelfällen Vortests erforderlich sind.

Eine weitere grundsätzliche Schwierigkeit liegt in dem polaren Charakter der Triglyceride, der bewirkt, daß Reaktionen von Wirkstoffen an Grenzflächen (Öl/Luft, Öl/Wasser und Öl/Werkstoff im Vergleich zum unpolaren Mineralöl verändert werden.

Weiterhin ist grundsätzlich zu bedenken, daß bei der Additivauswahl auch die biologische Abbaubarkeit und toxikologische Eigenschaften zu beachten sind. Im einzelnen liegen folgende Erfahrungen vor /21/:

- Das Kälteverhalten von Rapsöl läßt sich durch Stockpunktverbesserer vom Typ der Polymethacrylate günstig beeinflussen.
- Oxidationsinhibitoren auf der Basis von Aminen, Phenolen oder Zink-Dithiophosphaten zeigen begrenzte Wirkung, so daß das Alterungsverhalten in Labortesten bei erhöhter Temperatur (95 °C und höher) unbefriedigend bleibt. Auch Naturprodukte wie Vitamin E (Tocopherol) oder Vitamin C (Ascorbinsäure) reichen in ihrer Wirksamkeit nicht aus.
- Die aus der Mineralöl-Additiv-Technologie bekannten Korrosionsschutzzusätze (Bernsteinsäurederivate, Fettsäureamide, Salze von Sulfon- und Naphthensäure) sprechen auch bei Rapsöl gut an.
- Rapsöl selbst besitzt bereits ein gutes Lastaufnahmevermögen (Schadenskraftstufe in der FZG-Zahnrad-Verspannungs-Prüfmaschine nach DIN 51354 Teil 2: 11 gegenüber 8 bei einem gleichviskosen Mineralöl) und zeigt auch ausreichende Verschleißschutzeigenschaften. Durch klassische Additive lassen sich diese Phänomene weiter verbessern.
- Bekannte Demulgatoren und Entschäumer lassen sich wirkungsvoll in Rapsöl einsetzen.
- Motorenöladditive mit Detergent- und Dispersanteigenschaften bewirken auch in Rapsöl eine feine Verteilung von öllunlöslichen Fremdstoffen, die durch den Verbrennungsvorgang ins Motorenöl gelangen. Wegen der Gefahr der Bildung klebriger Ablagerungen aus Oxidations- und Polymerisationsprodukten des Rapsöls, müßten beim Einsatz als Motorenöl so wirksame Detergent/Dispersant-Wirkstoffe eingesetzt werden, wie sie noch nicht bekannt sind.
- Es ist bis jetzt nicht gelungen, Wirkstoffe zu finden, die eine hydrolytische Spaltung von Rapsöl verhindern oder verzögern.

### 3.4 Modifikationen von Pflanzenölen

Außer der Teilhydrierung zur Verbesserung der Alterungsstabilität von Pflanzenölen lassen sich die Bausteine natürlicher Öle auch benutzen, um über chemische Verfahrensschritte durch Austausch des Glycerins oder Veränderungen in den Fettsäurebestandteilen zu Estern mit hohem Qualitätsniveau zu kommen /22, 23/. So wird, z. B. nach der Hydrierung von Pflanzenölen und der hydrolytischen Spaltung, das erhaltene Fettsäuregemisch destillativ aufgetrennt und die mittelkettigen, gesättigten Fettsäuren mit Glycerin oder Trimethylpropan verestert /24/. Andere Beispiele für Verfahren zur Herstellung neuer Produkte aus Pflanzenöl-Fettsäuren sind /25/:

- Ozonolyse von Ölsäure ergibt Pelargon- und Azelainsäure.
- Umlagerung von Ölsäure an Tonerde bei 260 °C führt zu Isostearinsäure.
- Dimerisate und Trimerisate von ungesättigten Fettsäuren mit anschließender Veresterung oder Ethoxylierung bilden schmiertechnisch interessante Flüssigkeiten. Auch die Umesterung von tierischen oder pflanzlichen Ölen ist ein Weg zur Gewinnung von Basisölen für Schmierstoffe aus natürlichen Rohstoffen /26/.
- Grundsatz bei allen Modifikationen von Pflanzenölen muß sein, die Rohstoff- und Prozeßkosten so gering wie möglich zu halten.

## 4 Umweltverträglichkeit von Pflanzenölen

### 4.1 Grundsätzliche Aspekte

Bis vor kurzem wurden bei Betrachtungen über die Umweltverträglichkeit von Schmierstoffen der Schwerpunkt auf zwei Aspekte gelegt: Auf die Gesundheitsgefährdung und auf die Beeinflussung der Wassergüte durch neue oder gebrauchte Schmierstoffe. Für eine Beurteilung der Wechselwirkung eines Schmierstoffes mit der Umwelt sind jedoch wesentlich mehr Aspekte zu berücksichtigen /27/. Eine umfassende Betrachtungsweise hat alle Vorgänge von der Gewinnung bis zur Entsorgung zu beachten /28/, siehe Tabelle 4.

**Tabelle 4. Aspekte zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit eines Schmierstoffes**

- **Bei der Herstellung umweltneutral**  
– wenig Energieverbrauch, keine Abfallstoffe, keine Emissionen
- **Wenn möglich, aus regenerierbaren Rohstoffen**  
– keine Ressourcenerschöpfung, kein Treibhauseffekt
- **Physiologisch unbedenklich**  
– nicht toxisch, cancerogen, mutagen, teratogen
- **Ohne toxische Umwandlungsstoffe**  
– kein Bioakkumulationspotential
- **Ökotoxikologisch verträglich**  
– keine Wassergefährdung, nicht wassermischbar, leichter als Wasser
- **Nach Gebrauch biologisch schnell abbaubar**  
– keine toxischen oder unangenehmen Abbauprodukte
- **Keine Entsorgungsprobleme**  
– einfaches Recycling möglich

Insbesondere der Begriff „schnelle biologische Abbaubarkeit unter natürlichen Bedingungen“ wirft große Probleme auf, da bislang nur Laborverfahren zur Bewertung herangezogen werden. Es ist jedoch seit 1941 bekannt, daß auch Mineralölkohlenwasserstoffe bei Anwesenheit von Sauerstoff und Nährstoffen durch überall in der Natur vorkommende Mikroorganismen relativ schnell biologisch abgebaut werden /29/, und daß man die Abbauezeiten durch geeignete Maßnahmen deutlich beschleunigen kann /30 - 32/. Die so erreichbaren Umwandlungsgeschwindigkeiten liegen in der Größenordnung derer von Pflanzenölen, erfordern jedoch einen wesentlich höheren Aufwand.

Durch die Aufnahme von Verunreinigungen im Betrieb, insbesondere von Schwermetallen aus Additiven und Abrieb, wird der biologische Abbau bei Mineral- und Pflanzenöl behindert /33/. Deshalb liegt der Vorteil des schnelleren biologischen Abbaus von Pflanzenölen gegenüber Mineralölen nur beim Austritt kleinerer Flüssigkeitsmengen durch Leckagen, Risse, Überfüllungen usw. Solche geringen Mengen können u. U. so schnell biologisch abgebaut werden, daß sie nach wenigen Tagen nicht mehr nachweisbar sind, während bei Mineralölen für diesen Prozeß einige Wochen benötigt werden /28/.

### 4.2 Umweltzeichen für umweltverträgliche Schmierstoffe

Das Umweltzeichen, umgangssprachlich auch als „Blauer Engel“ bezeichnet, soll den Verbraucher auf am Markt angebotene Produkte hinweisen, die im Vergleich zu Produkten für den gleichen Verwendungszweck den größtmöglichen Entlastungseffekt für die Umwelt erzielen.

Der Vergabe werden Qualitätsstandards zugrunde gelegt, die oberhalb bestehender gesetzlicher Vorschriften liegen. Die Vergabebedingungen zum Umweltzeichen berücksichtigen auch Anforderungen an Gebrauchstauglichkeit und Sicherheit eines Produktes. Das Umweltzeichen wird befristet, in der Regel für den Zeitraum von drei Jahren vergeben. Nach drei Jahren wird geprüft, ob das Umweltzeichen zurückgezogen oder verlängert bzw. die Anforderungen an die Vergabe erhöht werden /34/.

Über die Vergaberichtlinien entscheidet eine Expertenkommission, an der das Umweltbundesamt, Hersteller-, Verbraucher-Vertreter und andere Sachverständige teilnehmen. Auf der Grundlage der Ergebnisse beschließt die „Jury Umweltzeichen“ die Vergabegrundlagen für die Auszeichnung einer Produktgruppe mit dem Umweltzeichen. Mit der technischen Durchführung und der Überwachung hat das Umweltbundesamt das Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung (RAL) in Bonn beauftragt.

Z. Z. liegen zwei Vergaberichtlinien für Schmierstoffe vor: RAL-UZ 48 /35/ und RAL-UZ 64 /36/. Eine weitere befindet sich in Vorbereitung /37/.

Nach den Vergaberichtlinien RAL-UZ 48 für Sägekettenöle /35/ dürfen keine Inhaltsstoffe enthalten sein, die nach der Gefahrstoffverordnung eine Kennzeichnung des Sägekettenschmierstoffes notwendig machen. Das heißt, es dürfen Gefahrstoffe verwendet werden, aber nur in einer Konzentration, die nicht zu einer Kennzeichnung führt. In der RAL-UZ 64 /36/ ist festgelegt, daß Gefahrstoffe nur enthalten sein dürfen, wenn ihr Gehalt 50 % der im Anhang I, Nummer 2.1 (Lösemittel) und 2.2 (Oberflächenbehandlungsmittel) der Gefahrstoffverordnung angegebenen Grenzkonzentrationen nicht übersteigt. Damit ist diese Forderung schärfer als bei den Kettensägeölen, da keine anderen Gefahrstoffe zugelassen sind.

Stoffe der Wassergefährdungsklassen 2 oder 3 dürfen ebensowenig enthalten sein wie Chlor- oder Nitritverbindungen. Von der Grundsubstanz (dem Grundöl, bei Schmierfetten Grundöl mit Eindicker) ist eine biologische Abbaubarkeit von 70 % nach den OECD-Testen und eine solche von 80 % nach dem CEC-Test vorgeschrieben. Von den Zusätzen, die bis zu 5 % enthalten sein dürfen, wird eine potentielle Abbaubarkeit nach dem Zahn-Wellens-Test gefordert. Zusätzlich müssen nach RAL-UZ 64 Zusätze aus Naturprodukten wie die Grundsubstanz abbaubar sein.

Ökotoxikologische Eigenschaften von Zusätzen werden durch Aussagen über die Giftigkeit im Zusammenhang mit der Abbaubarkeit oder dem biologischen Akkumulationspotential gemacht.

Das Bio-Akkumulationspotential wird durch den Verteilungskoeffizienten (POW) zwischen n-Octanol und Wasser bewertet, wobei ein Grenzwert des log POW von 2,6 nicht unterschritten werden darf. Dieser Verteilungskoeffizient korreliert mit der Eigenschaft von Stoffen, sich in organischen Fettgeweben anzureichern /38/. Die OECD Methode 208 dient zur Bewertung der toxischen Wirkung auf höhere Pflanzen.

Für die Bewertung der technischen Leistung bei Sägekettenölen dienen Richtlinien eines Prüfgutachtens des Kuratoriums für Waldarbeit und Forsttechnik (KWF) /39/.

Bei den Verlustschmierstoffen und Schalölen wird ohne nähere Spezifikation festgelegt, daß die Produkte auf den jeweiligen Einsatzbereich bezogen, den einschlägigen Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit und Sicherheit entsprechen müssen.

Kurzübersicht über die Hauptanforderungen an biologisch schnell abbaubare Sägekettenöle nach RAL-UZ 48 /35/ und an Verlustschmierstoffe und Schalöle nach RAL-UZ 64 /36/, siehe Tabelle 5.

#### 4.3 Biologische Abbaubarkeit

Der wichtigste Vorzug eines Schmierstoffes auf Pflanzenöl-Basis im Vergleich zu Mineralölen ist seine schnelle biologische Abbaubarkeit. Hierunter versteht man die von Mikroorganismen in Gegenwart von Sauerstoff vollzogene Elimination organischer Verbindungen mit den Endprodukten CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O und Biomasse. Der Abbau erfolgt in Stufen und ist abhängig von Art und Konzentration des verwertbaren Stoffes, der Art, Anzahl und Adaption der Mikroorganismen, der Temperatur, dem pH-Wert, dem Sauerstoff-Partialdruck, dem Nährstoffangebot und der Hemmung bzw. Stimulierung der Stoffwechselfähigkeit /40/.

Es hat nicht an Versuchen gefehlt, für die Eigenschaft „biologisch abbaubar“ geeignete Prüfverfahren zu entwickeln und Begriffe für die Angabe von Ergebnissen zu prüfen. Besondere Schwierigkeit bereitet bei allen Testen die Tatsache, daß Pflanzenöle wasserunlöslich sind, die üblichen Bestimmungsmethoden aber zur Bewertung des biologischen Abbaus von wasserlöslichen Substanzen entwickelt worden sind. Alle Prüfmethode, die zur Bestimmung des biologischen Abbauverhaltens von Schmierstoffen herangezogen werden, sind diskontinuierliche Testverfahren (Abklingteste, die away-test), die dadurch gekennzeichnet sind, daß die Abnahme der Konzentration eines Substrates über die Zeit direkt oder unmittelbar verfolgt wird /41/.

Besondere Bedeutung haben die von der OECD (Organisation für Economic Co-operation and Development) entwickelten Prüfverfahren, die für wasserlösliche Substanzen gedacht sind. Zur Verfolgung des Sauerstoffumsatzes dient entweder der Sauerstoffverbrauch während des Abbauvorganges, die Bildung von Kohlendioxid oder der Verlust an Ausgangssubstanz. Nur das CEC-Verfahren /42/ (Co-ordinating European Council) ist für Schmierstoffe, allerdings für Zweitaktmotorenöle, konzipiert worden. Von diesem Verfahren liegen als einzigem einige Erfahrungen zur Praxis vor /43/, während es für alle anderen fraglich ist, ob die Laborbedingungen mit polyvalenten Mischpopulationen und bei relativ kurzen Versuchszeiten den Verhältnissen in der Natur entsprechen. Aber auch beim CEC-Test bedeutet das Auslösen einer C-H-Valenzschwingung im IR-Spektrum nicht, daß der Kohlenwasserstoff mineralisiert worden ist, da die Umwandlungsprodukte einer biochemischen Abbaureihe von Kohlenwasserstoffen sehr unterschiedlich sein können /44/.

Tabelle 5. Hauptanforderungen an biologisch schnell abbaubare Schmierstoffe nach RAL-UZ 48 und RAL-UZ 64

	RAL-UZ 48 Sägekettenöle	RAL-UZ 64 Verlustschmierstoffe, Schälöle
<b>1. Inhaltsstoffe</b>		
1.1 Gefahrstoffe	unterhalb der Kennzeichnungsgrenze	für Gefahrstoffe aus Lösemitteln und Anstrichstoffen: < 50 % Grenzwert
1.2 Wassergefährdende Stoffe	nicht WGK 2 und 3	nicht WGK 2 und 3
1.3 Sonstige Stoffe	kein Chlor, kein Nitrit	kein Chlor, kein Nitrit
1.4 Polymere – Eluierbarkeit – Wasserlöslichkeit		< 0,1 % < 1 mg/l
<b>2. Abbaubarkeit</b>		
2.1 Grundsubstanz (> 5 %) OECD CEC	> 70 %	> 70 % > 80 %
2.2 Zusätze (< 5 %) OECD aus Naturprodukten OECD	> 20 % (potenziell abbaubar)	> 20 % (potenziell abbaubar) > 70 %
<b>3. Ökotoxizität zu Zusätzen</b>		
3.1 Sehr giftige Stoffe EC <sub>50</sub> /LC <sub>50</sub>	< 1 mg/l	< 1 mg/l
3.2 Giftige Stoffe EC <sub>50</sub> /LC <sub>50</sub> EC <sub>50</sub> /LC <sub>50</sub>	< 100 mg/l (nicht abbaubar) < 100 mg/l (log Pow < 3,5)	< 100 mg/l (nicht abbaubar) < 100 mg/l (log Pow < 3,5)
3.3 Akkumulation log Pow	< 2,6	< 2,6
4. Stoffzusätze mit toxischer Wirkung auf höhere Pflanzen	< 1 mg/l	< 1 mg/l
5. Gebrauchstauglichkeit	nach Richtlinie KWF	nach einschlägigen Anforderungen

Von den Flüssigkeitstypen, die als Schmierstoff-Grundöle Verwendung finden, liegt eine Reihe von Ergebnissen in biologischen Abbautesten vor /45, 46/, siehe Bild 2.

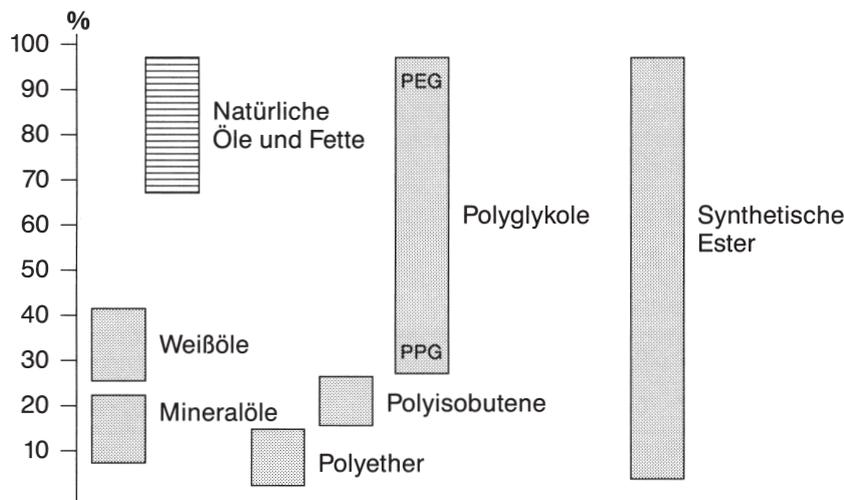


Bild 2: Biologisches Abbauverhalten verschiedener Flüssigkeiten nach CEC-L-33-T-82

Man erkennt, daß natürliche und modifizierte Pflanzenöle zwischen 70 und 100 % abgebaut werden, während bei Polyglykolen und synthetischen Estern je nach Molekülstruktur die Abbauraten von 10 bis 100 % reichen. Übliche Mineralöle liegen zwischen 10 und 25 %, nur Weißöle erreichen 40 % Abbau.

Mindestwerte für die biologische Abbaubarkeit von Schmierstoffen werden in einer Reihe von Spezifikationen aufgeführt. Zu den wichtigsten Anforderungskatalogen mit der Forderung nach biologischer Abbaubarkeit zählen:

- OECD Guidelines for Testing of Chemicals (1981) /47/;
- ICOMIA Standard 38-88 (1988) /48/;
- RAL-UZ-48 (1988) /35/;
- Ö-Norm C 2030 (1990) /49/;
- ÖVO über Kettensägeöle (1990) /50/;
- RAL-UZ-64 (1991) /36/.

Anforderungen an die biologische Abbaubarkeit nach diesen Katalogen siehe Tabelle 6.

## 5 Einsatzgebiete von Pflanzenölen als Schmierstoffe

Wegen der Anfälligkeit von nicht modifizierten Pflanzenölen gegen oxidativ und hydrolytisch wirkende Medien beschränkt sich der Einsatz auf drei Hauptgebiete, siehe Tabelle 7:

- Verlustschmierstoffe, die nur einmal eine Schmierstelle passieren und dann in mehr oder wenig veränderter Form als Gas, Flüssigkeit, Feststoffe oder als Gemische verschiedener Aggregatzustände in die Umwelt abgelassen werden;
- Umlaufschmierstoffe, bei denen die thermische und oxidative Belastung nicht allzu hoch ist, und wo ein Kontakt mit Wasser weitgehend ausgeschlossen ist;
- Sondereinsatzgebiete, bei denen nicht die tribologische Wirkung im Vordergrund steht, sondern andere Eigenschaften von besonderer Bedeutung sind, z. B. Benetzung und Haftung bei Korrosionsschutzstoffen, Kühlvermögen bei Kühlschmierstoffen.

Die Verwendung von Pflanzenölen für hochbelastete Dauer-Schmierstoffe wie Motorenöle, Hypoidgetriebeöle, Hochtemperatur-Schmierfette, Turbinenöle usw. ist zwar gelegentlich beschrieben worden /51/, hat aber noch keine verbreitete Anwendung gefunden. Für Kfz-Motoren eröffnet die Umstellung auf Zweitaktmotoren neue Möglichkeiten des Einsatzes von Pflanzenölen /52/.

**Tabelle 6. Anforderungen an das biologische Abbauverhalten**

Verfahren	OECD Guidelines %	ICOMIA 38 - 88 2-Takt-Öl %	RAL-UZ-48 Sägekettenöl %	RAL-UZ-64 Verlust- schmierstoff %	Ö-Norm C 2030 Sägekettenöle %	ÖVO 647 Sägekettenöle %
<b>Für Grundöle</b>						
OECD 301 A	> 70	—	> 70	> 70	—	—
OECD 301 C	> 60	—	> 70	> 70	—	—
OECD 301 D	> 60	—	> 70	> 70	—	—
OECD 301 E	> 80	—	> 70	> 70	—	—
EG 79/831	> 60	—	> 70	> 70	—	—
CEC-L-33-T82	—	> 66	> 70	> 80	> 80	> 90
<b>Für Additive &lt; 5 %</b>						
OECD 302 B	> 20	—	> 20	> 20	—	—

## 5.1 Verlustschmierstoffe und verwandte Produkte

### 5.1.1 Sägekettenöle

Beim Einsatz von schadstoffbelasteten Ölen, z. B. Altölen zur Schmierung von schnellaufenden Ketten bei Motorsägen ist die Gefahr für die Gesundheit der Forstarbeiter und für eine Kontamination des Waldbodens besonders groß /53-58/. Deshalb sind für Kettenschmierstoffe für Motorsägen die ersten Grundlagen für eine Umweltzeichenvergabe veröffentlicht worden /35/. Nachdem in Deutschland die Verwendung von umweltfreundlichen Sägekettenölen von den Forstverwaltungen angeordnet ist, haben Umweltzeichen-Kettenöle einen Anteil von ca. 70 % der ca. 6.500 Tonnen Sägekettenöl /59/, die in Deutschland jährlich verbraucht werden. Es ist zu erwarten, daß in absehbarer Zeit nur noch Kettenschmierstoffe für Motorsägen auf dem Markt sind, die auf Rapsöl beruhen und der RAL-UZ-48 genügen.

**Tabelle 7. Einsatzgebiete von Schmierstoffen auf Pflanzenöl-Basis**

Verlustschmierstoffe	Siehe Abschnitt
Sägekettenöle	5.1.1
Weichen- und Schienenschmierstoffe	5.1.2
Schmierfette	5.1.3
Drahtseilschmierstoffe	5.1.4
Schmierstoffe für offene Getriebe	5.1.5
Schmierstoffe für Druckluftwerkzeuge	5.1.6
Zweitaktmotorenöle	5.1.7
Korrosionsschutzstoffe	5.1.8
Formtrennmittel	5.1.9
<b>Umlaufschmierstoffe und Kraftübertragungsöle</b>	
Hydraulik- und Stoßdämpferöle	5.2.1
Getriebeöle	5.2.2
Bettbahnöle	5.2.3
<b>Sonderanwendungen</b>	
Kühlschmierstoffe	5.3.1
Korrosionsschutzmittel	
Luftfilteröle	

### 5.1.2 Weichen- und Schienenschmierstoffe

Zur Schmierung der beweglichen Teile von Weichen und zur Herabsetzung der Reibung zwischen Radsatz und Schiene werden erhebliche Mengen von Schmierstoffen bei den Eisenbahngesellschaften eingesetzt. Man schätzt den Bedarf allein bei der Deutschen Bundesbahn auf ca. 5.000 Tonnen im Jahr /60/. Die Deutsche Reichsbahn hat seit Mitte der achtziger Jahre alle Neubaulokomotiven mit Spurkranzschmiereinrichtungen ausgerüstet /61/.

Die in Form von Fließfetten oder von durch Eindicker erhaltenen, hochviskosen Schmierölen eingesetzten Schmierstoffe werden bei der Spurkranzschmierung nach jeweils 200 m Laufweg drei Sekunden lang mit 0,2 Gramm aufgesprüht, d. h. je Lokomotive und Kilometer ein Gramm Schmierstoff. Dadurch wird der Fahrwiderstand um rund 10 % verringert /62/. Biologisch schnell abbaubare Weichen- und Schienenschmierstoffe sind in der Umweltzeichenvergabe RAL-UZ-64 /36/ ausdrücklich erwähnt.

### 5.1.3 Schmierfette

Unter Schmierfett versteht man einen konsistenten Schmierstoff, der aus Grundöl, Verdickern und Zusätzen besteht. Nach dem Einsatz fällt gebrauchtes Schmierfett als Abfall an. 1991 wurden in der Bundesrepublik 40.789 Tonnen Schmierfett verbraucht.

Seit vielen Jahren wird als Eindicker in Schmierfetten ein pflanzlicher Rohstoff eingesetzt: 12-Hydroxystearinsäure (durch Hydrierung aus Ricinolsäure gewonnen) meist in Form des Lithiumsalzes. Versuchsfette auf Basis von Rapsöl als Grundöl und Lithium-12-Hydroxystearat ergaben biologische Abbauwerte zwischen 93 und 100 %. Ein typisches biologisch schnell abbaubares Schmierfett besteht aus etwa 85 % Rapsöl, 10 % hydrierte Ricinolsäure, 5 % Calcium und 0,5 % Antioxidant (langkettig alkylierte Phenole) und ist in vielen Punkten den üblichen Lithium-Mehrzweckfetten auf Mineralölbasis überlegen. Der Einsatzbereich liegt zwischen -20 und + 90 °C /63/. Wegen der relativ kurzen Beständigkeit von Pflanzenölen und der sehr begrenzten Einsatzmöglichkeit von biologisch abbaubaren, leistungsverbessernden Zusätzen kommen solche Schmierfette nur für einfache Anwendungen in Frage.

Als Schmierfette für die Schmierung bei Zentralanlagen von Nutzfahrzeugen eignen sich Fließfette auf Pflanzenölbasis nicht. Hier kommen als biologisch schnell abbaubare Produkte wegen des besseren Tieftemperaturverhaltens nur synthetische Ester als Grundöl in Betracht /37/.

Biologisch schnell abbaubare Schmierfette werden durch die Vergaberichtlinie RAL-UZ-64 erfaßt /36/.

### 5.1.4 Drahtseilschmierstoffe

Zur Verminderung von Verschleiß und Korrosion bei Drahtseilen werden Schmierstoffe zur Tränkung des Kernes während der Fertigung eingesetzt und rund 2.000 Tonnen jährlich während des Betriebes zur Nachschmierung eingesetzt /64/. Abgesehen von dem Auftrag von zähflüssigen Produkten in besonderen Bädern werden dünnflüssige Schmierstoffe im Betrieb aufgesprüht. Bei richtiger Anwendung reicht es aus, je Tag 500 ml Schmierstoff über eine Seillänge von 800 bis 1.000 m zu versprühen /65/. Über den Einsatz biologisch schnell abbaubarer Produkte ist noch nichts bekannt.

### 5.1.5 Schmierstoffe für offene Getriebe

In offenen Großgetrieben werden häufig konsistente Schmierstoffe eingesetzt. Insbesondere bei großen Zahnkranztrieben für Drehrohröfen, Rohrmühlen, Konditioniertrommeln usw. finden sprühbare Haftscherstoffe auf Bitumen- oder Seifenbasis bei intermittierender Auftragung durch Sprühschmiergeräte verbreitete Anwendung. Der Schmierstoffverbrauch liegt bei einem Großantrieb zwischen mehreren Tonnen und 500 kg/Jahr /66/. Dadurch läßt sich der jährliche Gesamtverbrauch in der Zementindustrie, im Bergbau, bei der Erzgewinnung, in Baggern und Kränen sowie bei Kompostierungsanlagen auf 2.000 Tonnen/Jahr schätzen. Erfahrungen mit Pflanzenölen liegen noch nicht vor.

### 5.1.6 Schmierstoffe für Druckluftwerkzeuge

Zur Schmierung von druckluftbetriebenen Werkzeugen, z. B. Bohrhämmer, Preßluftbohrer, Verdichter, werden im Jahr etwa 1.000 Tonnen Schmierstoffe eingesetzt. Dabei werden mit der Antriebsluft nicht unbedeutende Schmierstoffmengen transportiert und in die Umgebung ausgestoßen. Neben der Umweltverschmutzung spielt auch die mögliche Gesundheitsbeeinträchtigung durch das Einatmen der feinen Öltröpfchen eine Rolle.

Werden druckluftbetriebene, raketenähnliche Hämmer zur unterirdischen Verlegung von Gas-, Wasser- oder Elektroleitungen benutzt, gelangt ölhaltige Druckluft in das Erdreich /67/.

Aus diesem Grunde sind seit einer Reihe von Jahren mineralölfreie Schmierstoffe für Druckluftwerkzeuge auf dem Markt, die auf Polyethylenglykol aufgebaut sind. Wie weit diese Schmierstoffe den Vergaberichtlinien RAL-UZ-64 /35/ genügen, ist nicht bekannt.

### 5.1.7 Zweitaktmotorenöle

Etwa 25 bis 30 % von Zweitaktmotorenölen aus Mofas, Motorrädern, Außenbordmotoren, Rasenmähern, Kettensägen und anderen Zweitaktantrieben werden weitgehend unverbrannt in die Atmosphäre abgegeben /68/. Wegen der Gefahr der Gewässerverschmutzung durch unverbrannte Zweitaktmotorenöle wird deshalb für Außenbordmotoren schon länger eine biologische Abbaubarkeit der eingesetzten Öle gefordert /48, 69/.

Aus geeigneten synthetischen Estern und Wirkstoffen lassen sich voll formulierte Zweitaktmotorenöle für Wasser- und Landantriebe aufbauen, deren biologische Abbaubarkeit 85 % erreicht /70/. Zweitaktmotorenöle auf Esterbasis bieten gegenüber Mineralgrundölen den weiteren Vorteil, daß der Gehalt an polycyclischen Aromaten im Abgas um rund 25 % sinkt /71/.

Lange Jahre wurden rein pflanzliche Öle für den Renneinsatz in Zweitaktmotoren verwendet, weil sie über sehr gute Schmier-eigenschaften verfügen. Durch die Zugabe von Antioxidantien, Korrosionsinhibitoren und Verschleißschutzzusätzen erreichen diese Öle ein beachtliches Leistungsniveau /72/.

Eine Reihe von Nachteilen bewirkten, daß sie vom Markt verschwanden: Sie zeigen schlechte Verbrennungseigenschaften, sie bilden Lacke und Ablagerungen, und sie lassen sich nur begrenzt mit handelsüblichen Kraftstoffen mischen.

Die Vergaberichtlinien RAL-UZ-64 /36/ schließen Zweitaktmotorenöle ausdrücklich aus.

#### 5.1.8 Korrosionsschutzstoffe

Für den temporären Korrosionsschutz von Metalloberflächen wurden 1991 8.819 Tonnen unterschiedlicher Korrosionsschutzmittel auf Mineralölbasis mit Ölen, Wachsen, Fetten oder Bitumen eingesetzt. Die meisten dieser auf die Oberfläche durch Tauchen, Pinseln oder Sprühen aufgetragenen Stoffe werden nach einer Zwischenlagerung oder einem Transportvorgang vor der Weiterverarbeitung entfernt. Sie gelangen auf diese Weise zum großen Teil in das Betriebswasser und werden hieraus durch entsprechende Einrichtungen vor dem Ablassen abgetrennt oder sie gelangen direkt in die Umwelt, z. B. Überzüge bei Bolzen, Schrauben usw. Obwohl Pflanzenöle von sich aus Metalloberflächen gut benetzen und dadurch kurzfristig gegen Korrosion schützen, wird wegen der konkurrierenden Reaktion zwischen den polaren Pflanzenölen und den oberflächenaktiven Korrosionsschutz-Zusätzen noch kein wirksames Korrosionsschutzmittel auf Pflanzenölbasis angeboten. Biologisch schnell abbaubare Korrosionsschutzmittel werden nicht durch die Vergaberichtlinie RAL-UZ-64 /36/ erfaßt, da es sich nicht um Schmierstoffe handelt.

#### 5.1.9 Formentrennmittel (Schalöle)

Bis 1989 wurde der Verbrauch von Formenölen in der Statistik getrennt erfaßt. Er erreichte 1989 fast 10.000 Tonnen. Der größte Teil dieser Menge wird als Betontrennmittel bei Schalungsarbeiten verbraucht und gelangt so unmittelbar in die Umwelt.

Die Wirkung von Trennmitteln für Beton beruht auf der Bildung einer hydrophoben Schicht zwischen dem erhärtenden Beton und der Metall- bzw. Holzoberfläche der Schalung.

Da die wasserabweisenden Eigenschaften von Pflanzenölen weniger ausgeprägt sind als die von Mineralölen, ist die Entwicklung wirksamer, aber biologisch schnell abbaubarer Schalöle schwierig.

Die Vergaberichtlinien RAL-UZ-64 /36/ erfassen die Beton-Schalöle ausdrücklich.

## 5.2 Umlaufschmierstoffe und Kraftübertragungsöle

### 5.2.1 Hydraulik- und Stoßdämpferöle

Mit rund 166.000 Tonnen Inlandsabsatz 1991 stellen die Hydrauliköle nach den Motorölen die zweitgrößte Sortengruppe dar. Da es sich außerdem in der Mehrzahl der Anwendungsfälle um thermisch, oxidativ und hydrolytisch nicht allzu hoch belastete Flüssigkeiten handelt, ist der Anreiz zum Einsatz von Pflanzenölen bei Hydraulikölen besonders hoch. Hinzu kommt weiter, daß manche stationäre und viele mobile Hydraulikanlagen in Wasserschutzgebieten arbeiten, in denen der Besorgnisgrundsatz des Wasserhaushaltsgesetzes uneingeschränkt gilt /67/.

Deshalb sind die unterschiedlichen Aspekte des Einsatzes von Pflanzenölen als Hydraulikflüssigkeiten in einer Reihe von Veröffentlichungen und Firmenschriften beschrieben /15, 73-79/. In der Marktübersicht sind Hydrauliköle auf Rapsölbasis von 18 Herstellern vorgestellt /80/.

Aus diesen Unterlagen lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Hydrauliköle auf Rapsölbasis sind für übliche stationäre oder mobile Hydrauliken geeignet;
- Ihr Temperaturbereich reicht je nach Hersteller der Hydraulikflüssigkeit von -20 °C bis + 80 °C;
- Die Ölwechselfristen sind im allgemeinen kürzer als bei Mineralöl, können aber auch die Fristen für Mineralöl erreichen (teilweise bis zu 4.000 Betriebsstunden);
- Die biologische Abbaubarkeit der fertig formulierten Hydrauliköle auf Pflanzenölbasis liegt nach dem Verfahren CEC-L-33-T-82 zwischen 60 und 99 %;
- Der zur Bewertung der Oxidationsstabilität für mineralölbasische Öle nach DIN 51424 Teil 2 vorgeschriebene TOST-Alterungstest nach DIN 51587 (10.000 Stunden bei 95 °C in Gegenwart von Wasser) ist für Pflanzenöle nicht geeignet;
- Die Prüfung der Alterungsstabilität nach dem Baader-Test nach DIN 51554 über 110 Stunden bei 95 °C ohne Wasser erscheint für Hydraulikflüssigkeiten auf Pflanzenölbasis aussagekräftiger zu sein. Modifikationen des Prüfverfahrens sind vielleicht erforderlich;
- Für einzelne Hydraulikentwicklungen mit Rapsöl liegen Zulassungen nach der amerikanischen Vorschrift FDA 21 CFR 178.3570 für den Einsatz in Maschinen zur Herstellung und Verpackung von Lebensmitteln vor, bei denen ein gelegentlicher Kontakt zwischen Hydrauliköl und Lebensmittel nicht ausgeschlossen werden kann;

- Auf Rapsöl aufgebaute Hydrauliköle eignen sich auch zum Einsatz in hydrokinetischen Antrieben, z. B. Axialkolbenpumpen, Hydromotoren /81/. Von einzelnen Herstellern der Aggregate liegen bereits Anforderungsspezifikationen für „Umweltfreundliche Druckflüssigkeiten“ vor /82/;
- Wegen der durch Temperatureinflüsse relativ geringen Änderung der Viskosität von Pflanzenölen und wegen ihres niedrigen Reibbeiwertes eignen sie sich als Stoßdämpferöle /80/.

Für Hydraulik- und Stoßdämpferöle bestehen keine Vergaberichtlinien für Umweltzeichen. Um die Ausarbeitung bemüht sich z. Z. eine Expertenkommission /83/.

### 5.2.2 Getriebeöle

Zur Schmierung der Getriebe von Kraftfahrzeugen wurden 1991 rund 64.000 Tonnen Schmierstoffe eingesetzt. Während sich noch keine Möglichkeit abzeichnet, Pflanzenöle für Hinterachsgetriebe (Hypoidgetriebe) oder automatische Getriebe zu verwenden, liegen erste Ergebnisse für Handschaltgetriebe und für Universalöle (Getriebe, Hydraulik) zum Einsatz in Traktoren vor. Außerdem laufen Versuche in Boots- und Eisenbahngetrieben.

Für Industriegetriebe wurden 1991 22.234 Tonnen Schmierstoffe eingesetzt. Hier wird ebenfalls erprobt, wie weit sich nicht allzu hoch belastete Industriegetriebe mit Pflanzenölen schmieren lassen. Die Hauptproblematik bei allen Getriebeölen liegt auf der Additiv-Seite, da bislang noch kein EP-Wirkstoff bekannt ist, der gute Wirksamkeit mit schneller biologischer Abbaubarkeit und geringer ökotoxischer Wirkung kombiniert.

### 5.2.3 Bettbahnöle

Bei Bettbahnen, insbesondere für senkrecht angeordnete, läßt sich ein Abtropfen von Bettbahnölen nicht immer vermeiden, z. B. bei Sägegattern. Hier ist ein Einsatz von pflanzenölbasischen Schmierstoffen sinnvoll.

## 5.3 Sonderanwendungen

### 5.3.1 Kühlschmierstoffe

In der Bundesrepublik wurden 1991 34.116 Tonnen wassermischbare Kühlschmierstoffe (Konzentrate) eingesetzt, aus denen fast rund 850.000 Tonnen wassergemischte Kühlschmierstoffe hergestellt wurden. Als Basisflüssigkeit diente fast ausschließlich Mineralöl, bei dem durch eine Reihe von Zusätzen die Gebrauchstauglichkeit bewirkt wird: Emulgatoren, Korrosionsschutzzusätze, schneid- oder walzaktive Verbindungen, Biozide, Antischaumwirkstoffe usw.

Einer der Hauptnachteile der Mineralölemulsionen ist ihr hoher pH-Wert von 9 bis 9,3, der zum Erreichen eines wirksamen Korrosionsschutzes gegenüber Stahl erforderlich ist. Auf der anderen Seite zeigt ein hoher pH-Wert negative Auswirkungen gegenüber der menschlichen Haut /83/.

Wegen der besseren Benetzung von Metall durch Pflanzenöl ist ein niedrigerer pH-Wert ausreichend, um einen gleich guten Korrosionsschutz zu bewirken. Erste Erfahrungen zeigen, daß in der Tat Entwicklungen auf Rapsölbasis mit pH-Werten zwischen 8,0 und 8,5 sehr guten Schutz gegen Rost ergeben /81/. Ähnliche Ergebnisse sind mit synthetischen Esterölen beobachtet worden /85/.

Bei den emulgierbaren Kühlschmierstoffen auf der Basis natürlicher und synthetischer Ester ist noch nicht geklärt, wie im Dauereinsatz die leichte biologische Abbaubarkeit wirksam verhindert werden kann. Ein erhöhter Zusatz an Bioziden brächte erhebliche Nachteile mit sich, da hierdurch zum einen der pH-Wert erhöht würde und zum anderen die meisten Biozide physiologisch nicht unbedenklich sind. Hinzu kommt, daß bei der Entsorgung die ursprünglich schnelle biologische Abbaubarkeit deutlich verlangsamt wird.

Von den nichtwassermischbaren Kühlschmierstoffen wurden 1991 in der Bundesrepublik 54.238 Tonnen abgesetzt.

Auch hier ist für eine Reihe von Prozessen der spanenden und spanlosen Verformung von Metall der Ersatz von Mineralöl durch Pflanzenöle denkbar. Die Pflanzenöle können technische (bessere Benetzung, niedrigere Reibungszahl), ökologische (leichtere Entsorgung) und arbeitsmedizinische (geringere Hautreizung) Vorteile bieten. Über erste Erfahrungen ist berichtet worden /81, 86/.

Da es sich bei Kühlschmierstoffen nicht um Verlustschmierstoffe handelt, sind die Vergaberichtlinien RAL-UZ-64 nicht anwendbar /36/.

## 6 Entsorgung

### 6.1 Grundsätzliches

Bei der Beseitigung von biologisch schnell abbaubaren Flüssigkeiten muß man zwei Vorgänge unterscheiden:

- Den Abbau von geringen Mengen von Verlustschmierstoffen, Leckverlusten, Verschüttungen, Tropfarten, Ausblasungen usw. im Boden;
- Die Entsorgung größerer Flüssigkeitsmengen nach einem Ölwechsel bei Umlaufölen.

Im ersten Fall dringt das gebrauchte und Additive, Abriebmetalle und Alterungsprodukte enthaltende Öl in den Boden ein. Je nach Bodenbeschaffenheit werden im Kubikmeter Erdboden 5 bis 40 Liter Öl festgehalten /87/. Bei ausreichendem Sauerstoffzutritt treten jetzt biologische Oxidationsreaktionen auf, die jedoch durch die Anwesenheit von Abriebmetallen behindert werden /33/. Dabei ist zu beachten, daß der Sauerstoffbedarf zur vollständigen Oxidation von Schmierflüssigkeiten sehr hoch ist. Zum Abbau eines Liters Schmieröl, sowohl Ester wie Mineralöl, wird rund 40 bis 50 mal soviel Sauerstoff verbraucht wie zum Abbau der häuslichen Abwässer eines Einwohners pro Tag (Einwohnergleichwert). Die Kosten der Entsorgung von Erdreich, das mit Pflanzenöl verunreinigt ist, sind durch die häufig gegebene Möglichkeit der Ablagerung in Hausmülldeponien wesentlich geringer als die der Entsorgung von mineralöhlhaltigem Boden.

Im zweiten Fall bildet sich beim Auftreffen auf Wasser oder auf den Boden eine zusammenhängende Öllinse bzw. ein Ölkörper mit relativ geringer Oberfläche. Der biologische Abbau wird dadurch verlangsamt, daß der Luftsauerstoff zu inneren Zonen einer Öllinse nur verzögert Zutritt hat. Es werden bei Sauerstoffmangel Abbauraten bei Pflanzenölen erreicht, die in der Größenordnung der von Kohlenwasserstoffen liegen.

Deshalb müssen größere Flüssigkeitsmengen von „biologisch schnell abbaubaren“ Schmierstoffen vorschriftsmäßig entsorgt werden.

### 6.2 Rechtliche Fragen

Gebrauchte Pflanzenöle stellen keine Stoffe dar, die ganz oder teilweise aus Mineral- oder Syntheseöl bestehen. Sie fallen deshalb nicht unter die Vorschriften des § 5 a Abfallgesetz /88/ und die Regelungen der Altölverordnung /89/. Sie sind kein Altöl. Im Merkblatt des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zur Altöleentsorgung vom Mai 1990 wird darauf hingewiesen, daß gebrauchte Pflanzenöle getrennt zu lagern sind /90/.

Als Abfallstoffe gehören gebrauchte Schmier- und Hydrauliköle auf Pflanzenölbasis zum Abfallschlüssel 121 02. Hinweise in der „TA Abfall“ /91/, siehe Tabelle 8.

**Tabelle 8. Pflanzenöle in der TA Abfall**

<p><b>Besonders überwachungsbedürftig 121 02: Pflanzenöle</b> Ölmühlen, Herstellung von Nahrungsfetten, Handel, technische Anwendung vegetabiler Öle und Schmiermittel</p> <p><b>Verwertungsprüfung vornehmen</b> wenn negativ – Sonderabfall-Verbrennungsanlage als Entsorgung im Regelfall (Präferenzklasse 1)</p> <p>keine weitere Entsorgungsmöglichkeit vorgesehen</p> <p><b>Hinweis:</b> Der Begriff „verdorbene Pflanzenöle“ ist ersetzt durch „Pflanzenöle“</p>
---

Gebrauchte Pflanzenöle stellen nur dann Altöl im Sinne der Altölverordnung dar, wenn sie aus der Verwendung Reste von Mineral- oder Syntheseöl enthalten /92/. Dieses kann bei der Neubefüllung eines Maschinenaggregates der Fall sein oder wenn während des Einsatzes unvermeidbar Mineralöl von einer anderen Schmierstelle in das Pflanzenöl dringt.

Da gebrauchte Pflanzenöle ohne Mineralölbeimengung kein Altöl darstellen, gelten die Vorschriften der Altölverordnung nicht. Es besteht demnach kein gesetzliches Vermischungsverbot mit anderen Pflanzenölen. Proben müssen bei der Entsorgung nicht gezogen werden und eine „Ergänzende Erklärung“ ist nicht erforderlich.

Bei gebrauchten Pflanzenölen handelt es sich um Sonderabfall, der mit relativ hohen Kosten umweltunschädlich beseitigt werden muß. Die unbeabsichtigte Kontamination mit Mineral- oder Syntheseöl läßt aus dem Sonderabfall „Altöl“ entstehen, das mit deutlich geringeren Kosten entsorgt werden kann.

Es ist zu erwarten, daß bei der kommenden Novellierung von Abfallgesetz und Altölverordnung gebrauchte Pflanzenöle in den Altölbegriff integriert werden.

### 6.3 Entsorgungsmöglichkeiten

Die Entsorgung gebrauchter Pflanzenöle kann auf dreierlei Weise geschehen:

- Durch Verbrennung in zugelassenen Anlagen  
Ist eine Verbrennung vorgesehen, können gebrauchte Pflanzenöle mit gebrauchten Mineralölen frühestens in der Verbrennungsanlage gemischt und gemeinsam dem Feuerraum zugeführt werden. Der Heizwert von Rapsöl ist mit 40 MJ/kg hoch genug, um die in der TA Luft geforderten 30 MJ/kg zu erreichen. Die Art der Additivierung spielt bei der Art der Entsorgung keine Rolle, solange übliche Schmierölwirkstoffe verwendet werden. Die Verbrennung in einer Sonderabfallverbrennungsanlage ist die primäre Entsorgungsmöglichkeit nach der TA Abfall /93/.
- Als chemischer Rohstoff  
Aus Rapsöl direkt oder aus den Spaltprodukten Fettsäuren und Glycerin lassen sich eine Reihe von chemischen Produkten herstellen, z. B. Tenside, Schmiermittelzusätze, Ziehschmierstoffe, Waschrohstoffe usw. Auch hier ist Voraussetzung, daß sich weder Additive noch Abriebmetalle in den Spaltprodukten anreichern.
- Aufarbeitung mit geeigneten Verfahren  
Bei der Aufarbeitung dienen gebrauchte Schmier- und Hydrauliköle als Sekundärrohstoff, aus dem in Altölraffinerien neuwertige Basisöle (Multiraffinate) hergestellt werden. In Deutschland wird zur Aufarbeitung in drei Raffinerien fast ausschließlich das Schwefelsäure-Bleicherde-Kontaktverfahren eingesetzt, bei dem in einem Verfahrensschritt mit konzentrierter Schwefelsäure gearbeitet wird /94, 95/.

Durch die Einwirkung von konzentrierter Schwefelsäure werden alle Pflanzenöle (Triglyceride) und die meisten synthetischen Ester hydrolytisch gespalten und gehen in das Säureharz über. Deshalb ist mit dieser Technologie einer Aufarbeitung von gebrauchten Pflanzenölen nicht möglich.

Um gebrauchte Pflanzenöle oder Mischungen von Pflanzenölen mit Mineralölen aufzuarbeiten, sind technische Prozesse erforderlich, die die Esterbindung nicht angreifen.

Hier stehen zwei Verfahren unterschiedlicher technischer Reife zur Verfügung /95/:

- Ein Flockungs-/ Adsorptions-Prozeß (SCHELTEX)  
Unter milden Bedingungen werden Verunreinigungen und Additiv-Reste durch Silikate/ Polymere in einem Stufenprozeß ausgeflockt. Dabei bleiben Estergruppen intakt, so daß gebrauchte Pflanzenöle verarbeitet werden können. Erfahrungen liegen bisher nur im Labormaßstab vor.
- Ein destillatives Verfahren (ENTRA)  
Durch exakte Prozeßführung werden gebrauchte Öle definierten Temperaturspitzen im Millisekundenbereich ausgesetzt. Dabei tritt bei Mineralölen kein Cracken und bei Pflanzenölen keine Acrolein-Bildung auf, aber Verunreinigungen und Additive werden durch Hilfsstoffe in den Sumpf überführt und so abgetrennt /97/. In einer Technikumsanlage mit einer Kapazität von 3.000 Tonnen/ Jahr sind die Grundlagen für einen großtechnischen Einsatz erarbeitet worden.

#### Sonstige Verwertungen

Ohne daß bislang ausgedehnte Versuche vorliegen, wird der Einsatz von gebrauchten Pflanzenölen für folgende Einsatzzwecke geprüft:

- Verwendung für untergeordnete Schmierzwecke  
In der Landwirtschaft und in der Industrie gibt es eine Reihe von einfachen Schmierfällen oder Korrosionsschutzanwendungen, bei denen gebrauchte Pflanzenöle nach einfacher Aufbereitung (Schleudern, Filtrieren) eingesetzt werden können.
- Umesterung zu Rapsölmethylester (RME)  
RME wird in größerem Umfang versuchsweise als Kraftstoff für Dieselmotoren eingesetzt /98/. Dabei ist der Einsatz verschmutzter, additivhaltigerer Rapsöle technisch möglich, weil bei den chemischen Prozessen Reinigungsoperationen vorgesehen werden müssen.
- Biologischer Rohstoff für die anaerobe Umsetzung  
In den Faultürmen der Kläranlagen wird unter Sauerstoffabschluß aus organischem Material durch biologische Prozesse Faulgas, im wesentlichen Methan, zur Energiegewinnung erzeugt. Wenn die Belastung des entstehenden Klärschlammes durch Schwermetalle aus gebrauchten Pflanzenölen nicht zu hoch ist, wäre ein Einsatz gebrauchter Pflanzenöle für diesen Zweck möglich.

## 7 Literaturhinweise

- 1 Höpner, Th. u. a.: Hydrocarbon biodegradation in sediments and soils, Part I: Grain size, surface area and soil type; part II: pH-values; part III: Temperature; part IV: Special aspects of nutrient demand, Erdöl u. Kohle 43 (1990) 6, S. 217/24; 9, S. 337/42; 11, S. 435/37; 44 (1991) 2, S. 59/62; 9, S. 329/32
- 2 Bekanntmachung über die Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zu dem Förderschwerpunkt „Biologisch schnell abbaubare Schmierstoffe“, Bundesanz. 1991, Nr. 9, S. 222, 15. 1. 1991
- 3 Ihrig, H.: Umweltverträgliche Schmierstoffe in den 90er Jahren. Tribol. u. Schmierungstech. 39 (1992) 3, S. 121/25
- 4 Salamon, P.: Mittelfristige Aussichten am Weltfettmarkt. Landbauforsch. Völkenroda 39 (1989) 2, S. 110/23
- 5 Brenndörfer, M.: Einsatzmöglichkeiten pflanzlicher Öle in der Land- und Forstwirtschaft. Techn. Akad. Esslingen: Lehrgang – Biologisch abbaubare Schmierstoffe und Arbeitsflüssigkeiten, speziell auf pflanzlicher Basis, 12. - 14. 02. 1992
- 6 Hürden für Biokraftstoffe. europe oil-telegram Nr. 13 (1992) S. 8
- 7 Schmolzki, M.: Rechtsrahmen und Wirtschaftlichkeit von Rapsöl als Schmierstoff. Techn. Akad. Esslingen: Lehrgang – Biologisch abbaubare Schmierstoffe und Arbeitsflüssigkeiten, speziell auf pflanzlicher Basis, 12. - 14. 02. 1992
- 8 Suttor, K. H.: Öl vom Feld. Energie-Spektrum 1990, Nr. 2, S. 28/32
- 9 Kappelmann, K. H. u. Kloos, R.: Forschungsförderung nachwachsender Rohstoffe – Bereich pflanzliche Öle und Fette. Forschungsberichte des Dachverbandes Wissenschaftl. Gesellsch. d. Agrar-, Forst-, Ernährungs-, Veterinär- und Umweltforschung. Frankfurt: DLG-Verl. Bd. 4, 1990, S. 109
- 10 Thomas, A.: Fette und Öle. In: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie. Weinheim: Verlag Chemie, 4. Aufl., Bd. 11, 1976, S. 457/524
- 11 Verordnung über den Höchstgehalt an Erukasäure in Lebensmitteln v. 24. 05. 1977. BGBl I (1977), S. 782; geändert am 26. 10. 1982, BGBl I (1982) S. 1446
- 12 Katoh, M., Taguchi, M. u. Kunimoto, T.: Current status of Jojoba oil utilization in cosmetics in Japan. In: Baldwin, A. R. (Hrsg.): Seventh International Conference on Jojoba and its uses. Campaign: American Oil Chemist's Soc., 1988, S. 318/42
- 13 Clarke, J. A. u. Yermanos, D. M.: Jojoba-Variability in oil content and composition in a collection of 1156 native plants. J. Am. Oil Chem. Soc. 57 (1980) 6, S. 176/78
- 14 Hubmann, A.: Chemie pflanzlicher Grundöle, Arb. Kr. Schriftt. Ausw. Schmierungstech. Ber. 12-90 (1990) S. 1/18
- 15 Staeck, D.: Die „neuen“ Druckflüssigkeiten – Biologisch abbaubare, umweltschonende Medien –. Ölhydraul. u. Pneum. o+p 34 (1990) 6, S. 385/86/88; 391/95
- 16 Bongardt, F.: Einfluß der chemischen Struktur auf das Luftabscheidungsvermögen und die hydrolytische Stabilität von Estern. Fat Sci. Technol. 92 (1990) 12, S. 473/8
- 17 Nagdi, K.: Dichtungswerkstoffe für umweltfreundliche Flüssigkeiten. Ölhydraul. u. Pneum. o+p 34 (1990) 1, S. 42/50
- 18 Peschk, G.: Wechselwirkungen von konventionellen und biologisch abbaubaren Hydraulik-Druckflüssigkeiten mit elastomeren Dichtungswerkstoffen. Lehg. „Biol. abbaub. Schmierst. u. Arbeitsflüssigk., spez. auf pflanzlicher Basis“; Techn. Akad. Esslingen, 12. 02. - 14. 02. 1992
- 19 Nagdi, K.: Seal materials for synthetic lubricants and working fluids, Kautschuk, Gummi u. Kunstst. 43 (1990) 4, S. 228/34, 237
- 20 Dittmers, H. J.: Farbanstriche für umweltverträgliche Flüssigkeiten. In: Aengeneyndt, K. D. (Hrsg.): Umweltfreundliche Hydraulikflüssigkeiten. Essen: Haus d. Technik 10. 11. - 11. 11. 1992
- 21 Hubmann, A.: Additivierung pflanzlicher Schmierstoffe. Arb. Kr. Schriftt. Ausw. Schmierungstech. Ber. 21-90 (1990), S. 1/20
- 22 Völtz, M.: Schmierstoffe auf Basis natürlicher Rohstoffe. Erdöl, Erdgas, Kohle 107 (1991) 7/8, S. 333/36
- 23 Van der Waal, G. u. Kenbeek, D.: Environment Protective Ester Base Fluids. 8. Internat. Koll. Tribologie 2000. 14. - 16. 1. 1992, TAE Esslingen Bd. 2, S. 13.3-1-13.3.8
- 24 Schmidt, H. G.: Umweltverträglichkeit synthetischer Ester auf Basis nachwachsender Rohstoffe. GfT-Tribologie Fachtagung 1991. Proceedings S. 5/1-5/4.
- 25 Eierdanz, H.: Oleochemische Möglichkeiten für native Öle. Workshop-Umweltentlastung durch biologisch schnell abbaubare Schmierstoffe, Bonn: BMFT/DLR, 7. 6. 1990
- 26 Screenivasan, G.: Interesterification of Fats. J. Am. Oil Chem. Soc. 55 (1978) 8, S. 796/805
- 27 Mang, T.: Umweltschonende und arbeitsfreundliche Schmierstoffe. Tribol u. Schmierungstech. 38 (1991) 4, S. 231/36
- 28 Möller, U. J.: Einführung in die Problematik. In: W. J. Bartz (Hrsg.): Biologisch abbaubare Schmierstoffe und Arbeitsflüssigkeiten, speziell auf pflanzlicher Basis. Ehningen: expert-Verl., Bd. 402 (1993), S. 1/13
- 29 Bushnell, L. D. u. Haas, J. F.: The utilization of certain hydrocarbons by microorganisms. J. Bacteriol. 41 (1941) S. 653/73
- 30 Möller, U. J., Boor, U. u. Runge, G.: Neue Verfahren zur Beseitigung gebrauchter Metallbearbeitungsemulsionen. Erdöl u. Kohle 27 (1974) 2, S. 70/77
- 31 Pinholt, Y., Struve, S. u. Kjoller, A.: Microbial changes during oil decomposition in soil. Holarctic Ecology 2 (1979) 3, S. 195/200
- 32 Schüssler, H.: Entsorgung schadstoffbelasteter Böden und Grundwässer durch Einsatz speziell gezüchteter Mikroorganismen. GIT Suppl. 1986, S. 34/38

- 33 Babich, H. u. Stotzky, G.: Heavy metal toxicity to microbe-mediated ecology processes: A review and potential application to regulatory policies. *Environm. Res.* 36 (1985), 1, S. 111/37
- 34 Umweltzeichen-Richtlinien. Bonn: RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V., 1991, S. 1/4
- 35 Grundlage für Umweltzeichenvergabe: Biologisch schnell abbaubare Kettenschmierstoffe für Motorsägen. RAL-UZ-48. Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V. (RAL), Bonn, März 1988
- 36 Grundlage für Umweltzeichenvergabe: Biologisch schnell abbaubare Schmierstoffe und Schalöle. RAL-UZ-64. Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V. (RAL), Bonn, Juni 1991
- 37 Nemack, Chr.: Verhalten von Fließfetten mit Grundölen auf der Basis nativer Öle und synthetischer Ester in Zentralschmieranlagen. *Techn. Akad. Esslingen. Lehrg. „Biol. abbaub. Schmierstoffe u. Arbeitsflüssigkeiten, spez. auf pflanzl. Basis“*, 12.-14.02.1992
- 38 Lindemann, L. und Keyaniyan, S.: Schmierstoffe für Land- und Forstwirtschaft. *Arb. Kr. Schrift. Ausw. Schmierungstech. Ber.* 15-91 (1991), S. 1/19
- 39 Verminderung der Umweltbelastung durch Motorsägen. *Holzzentralblatt Nr. 113 (1987) 111*, S. 1573/74, Neufassung des KWF vom 8.9.1992
- 40 Weyandt, R. G.: Ökologische Bewertung von Arbeitsflüssigkeiten und Schmierölen durch Biotests. *Ölhydr. u. Pneum. o+p 34 (1990) 6*, S. 396/400
- 41 Wagner, R. (Hrsg.): Methoden zur Prüfung der biochemischen Abbaubarkeit chemischer Substanzen. Weinheim: VCH Verlagsges., 1988
- 42 Biodegradability of Two-Stroke Cycle Outboard Engine Oils in Water, CEC L-33-T-82. London: Co-ordinating European Council, 1982
- 43 Völtz, M.: Biologischer Abbau von Schmierölen – Grundlagen, CEC-Labortest und Feldversuche. In: van Donkelaar, P. (Hrsg.): *Moderne Zweitaktmotorenschmierung*. Sindelfingen: expert-Verl., Bd. 171, 1987
- 44 Rehm, H. J.: Mikrobiologie und Biochemie der Kohlenwasserstoffe. In: Schweinfurth, R. (Hrsg.): *Angewandte Mikrobiologie der Kohlenwasserstoffe in Industrie und Umwelt*. Ehningen: Expert-Verl., Bd. 164, 1988
- 45 Versino, C. u. Novaria, M.: Biodegradabilitytest for synthetic esters. *J. Synth. Lubr.* 4 (1987) 1, S. 3/23
- 46 Busch, Chr.: Aufbau und Eigenschaften rapsölbasischer Druckmedien. In: Aengeneyndt, K. D. (Hrsg.): *Umweltfreundliche Hydraulikflüssigkeiten*. Essen: Haus d. Technik 05.03./06.03.1991
- 47 OECD Guidelines for Testing of Chemicals. Paris: OECD Publication Office, 1983.
- 48 ICOMIA (International Council of Marine Industry Association) Standard 38-88: Lubricating Oil for 2-stroke cycle outboard motors – ecologically friendly, 1988
- 49 ÖNORM C 2030: Schmierstoffe – Sägekettenöl auf Pflanzenölbasis. Entwurf August 1990
- 50 Verordnung 647 vom 20.09.1990 über das Verbot bestimmter Schmiermittelzusätze und die Verwendung von Kettensägeölen. *ÖBGBI 1990*, S. 413
- 51 Kellersberg, J.: Biologisch abbaubare Motorenöle – Fiktion oder Zukunft? Langzeiterfahrungen mit Bio-Motorenöl auf Rapsölbasis in einem Diesel-Pkw. *Techn. Arbeitstagung Hohenheim*, 13.-15.03.1991
- 52 Van Donkelaar, P.: Environmental effects of crankcase and mixed lubrication. *Science Tot. Environm.* 92 (1990) S. 165/79
- 53 Ruppert, D. u. Seibert, V.: Läßt sich die Kettenschmierung bei Motorsägen umweltfreundlicher gestalten? *Allg. Forst Z.* 42 (1987) 44, S. 1128/29
- 54 Forbrig, A.: Gefahrstoffe beim Einsatz der Motorsäge – eine Gefahr für den Waldarbeiter? *Allg. Forst Z.* 43 (1988) 19, S. 528/30
- 55 Hartweg, A. u. Keilen, K.: Die Umweltverträglichkeit von Bioölen. *All. Forst Z.* 43 (1988) 7, S. 148/50
- 56 Sturm, R.: Schadstoffe durch die Motorsäge mit besonderer Berücksichtigung der Ölproblematik. *KWF-Ber. 5/1988: Gefahrstoffe beim Einsatz der Motorsäge*, Groß-Umstadt: Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik, 1988, S. 167/74
- 57 Geiger, G.: Sägekettenhaftöle und Umweltschutz. In: *Industrieschmierstoffe*, 6. Intern. Koll. 12.-14.01.1988 *Techn. Akad. Esslingen. Hrsg.: W. J. Bartz. Ostfildern: TAE 1988*, S. 7.2-1/7.2-5
- 58 Völtz, M.: Schmierstoffe für Wald und Wasser – Biologisch abbaubare Schmierstoffe zur Entlastung der Umwelt. In: *Industrieschmierstoffe*, 6. Intern. Koll. 12.-14.01.1988 *Techn. Akad. Esslingen, (Hrsg.): W. J. Bartz, Ostfildern: TAE 1988*, S. 7. 1-1/7.1-13
- 59 Ruppert, D.: Prüfung der Gebrauchstauglichkeit von umweltschonenden Kettenschmiermitteln für Motorsägen. *Lehrg. „Biolog. abbaub. Schmierst. u. Arbeitsflüssigkeiten, spez. auf pflanzl. Basis“*. *Techn. Akad. Esslingen*, 12.-14.02.1992
- 60 Möller, U. J.: Umweltaspekte beim Einsatz von Schmierstoffen. *VDI-Ber. 680 (1988)*, S. 321/37
- 61 Lentz, K. u. Abel, W.-D.: Spurkranzschmierung bei der Deutschen Reichsbahn. *Schmierungstech.* 20 (1989) 9, S. 278/81
- 62 Brandenburg, W.: Veränderung der Sprühdüse für die Spurkranzschmiereinrichtung. *Schienenfahrzeuge (1977) 3*, S. 86/88
- 63 Dresel, W. H.: Schmierfette auf pflanzlicher Basis. *Arb. Kr. Schrift. Ausw. Schmierungstech., Ber.* 23-90 (1990), S. 1/21
- 64 Möller, U. J. u. Boor, U.: Schmierstoffe im Betrieb. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1987, S. 242/51
- 65 Weber, C.: Der Einfluß von Seilschmiermitteln auf die Gebrauchsdauer von Drahtseilen. *Techn. Überw.* 5 (1964) 3, S. 83/85
- 66 Blanke, H. J.: Schmiersysteme für Zahnkranzantriebe unter Berücksichtigung der Schmierstoffart und Auftragsmethode. In: Wollhofen, G. P. (Hrsg.): *Getriebeschmiierung in der Anlagentechnik*. Ehningen: expert-Verl., Bd. 189, 1990, S. 316/63
- 67 Aengeneyndt, K. D. u. Pelzer, E.: Neue umweltfreundliche Hydraulikflüssigkeiten. *Ölhydr. u. Pneum. o+p 30 (1986) 7*, S. 529/31
- 68 van Donkelaar, P.: Der moderne Zweitakter als überlegener Antrieb. In: van Donkelaar, P. (Hrsg.): *Moderne Zweitaktmotorenschmierung*. Sindelfingen: expert-Verl., 1987, S. 1/26

- 69 IWBG (Internationale Wassersportgemeinschaft Bodensee): Bootsmotorenemissionen minimieren. Friedrichshafen: IMEC-Publikation, Juli 1987
- 70 Kenbeek, D. u. Waal, G. u. a.: Development of high dilution, low pollution outboard oils. Intern. Koll. Industrieschmierst., Esslingen: 12.-14.01.1988, Bd. 1, S. 7.3-1/7.3-6
- 71 Comacini et al.: PAH emissions of synthetic organic esters used as lubricants in a two-stroke-engine. J. Synth. Lubric. 3 (1986) 4, S. 251/56
- 72 Göbels, K.: Moderne Zweitakt-Schmiermittel. In: van Donkelaar, P. (Hrsg.): Moderne Zweitaktmotorenschmierung. Sindelfingen: expert-Verl., Bd. 171, S. 61/121
- 73 Pfab, H. u. Schön, J.: Hydraulikflüssigkeiten auf pflanzlicher Basis für Traktoren und Landmaschinen. Landtechn. 44 (1989) 10, S. 426/27
- 74 Pelzer, E. u. Lehringer, P.: Anwendungstechnische Eigenschaften von umweltfreundlichen Hydraulikflüssigkeiten. Ölhydr. u. Pneum. o+p 33, (1988) 3, S. 235/36, 239
- 75 Bauer, K.: Auf dem RWTÜV Prüfstand: Umweltverträgliche Hydraulikflüssigkeiten. fluid 23 (1989) 9, S. 28/32
- 76 Ihrig, H.: Erfahrungen mit Schmierstoffen und Hydraulikflüssigkeiten auf Pflanzenölbasis in Verlustschmierung und Langzeiteinsatz. Mineralöl-techn. 35 (1990) 8, S. 1/19
- 77 O+P Gesprächsrunde: Umweltschonende Druckflüssigkeiten. Ölhydr. u. Pneum. o+p 35 (1991) 2, S. 84/89
- 78 Galle, R.: Umweltschonende Druckflüssigkeiten. Ölhydr. u. Pneum. o+p 35 (1991) 4, S. 356/69b
- 79 Turek, R.: Schmierstoffe und Funktionsflüssigkeiten für Land-, Forst- und Baumaschinen. Lehrg. „Biol. abbaub. Schmierstoffe und Arbeitsflüssigkeiten, spez. auf pflanzlicher Basis. Techn. Akad. Esslingen, 30.01.-01.02.91
- 80 Marktübersicht: Biologisch abbaubare Hydraulikflüssigkeiten. Baumaschinendienst 1990, 3, S. 148/60
- 81 Machold, W.: Einsatzerfahrungen mit pflanzenölbasischen Produkten in der Industrie und im Zweiradbereich. Techn. Akad. Esslingen: Lehrgang – Biolog. abbaub. Schmierst. und Arbeitsflüssigkeiten, spez. auf pflanzl. Basis, 30.01.-01.02.91
- 82 Mannesmann-Rexroth: Umweltfreundliche Druckflüssigkeiten HTG, HPG, HE für Axialkolbenmaschinen. RD 90221/05.89
- 83 Pelzer, E.: Normung und Vergaberichtlinien des Umweltzeichens von umweltschonenden Hydraulikölen, Arb. Kr. Schriftt. Ausw. Schmierungs-techn. Ber. 14-90 (1990), S. 1/35
- 84 Möller U. J. und Schröder, W.: Kühlschmierstoffe und die menschliche Haut. Mineralöltech. 35 (1990) 5, S. 1/36
- 85 Müller, J.: Arbeits-, umwelt- und betriebsfreundliche wassermischbare Kühlschmierstoffe – biologisch abbaubar? Techn. Akad. Esslingen. Lehrg. „Biol. abbaub. Schmierstoffe und Arbeitsflüssigkeiten, spez. auf pflanzlicher Basis 12.-14.02.1992
- 86 Eberhard, U.: Erfolg mit Raps. Metall 42 (1990) 24, S. 21
- 87 Golwer, A.: Versickerungsverhalten und Ausbreiten von Mineralölen und Chemikalien im Untergrund. Umweltsch. – Gesund. Techn. 16 (1982) 3, S. 50/56
- 88 Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (Abfallgesetz – AbfG) vom 27. 10. 87. BGBl I (1986) S. 1410
- 89 Altölverordnung (AltölV) vom 27. 10. 87. BGBl I (1987) S. 2335
- 90 Altöl-Entsorgung – Eine Information des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Bonn: Mai 1990
- 91 Zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall). Teil 1: Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch-physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen vom 12. 03. 91, GMBi 42 (1991) 8, S. 139/214
- 92 Kunig, P., Schwermer, G. und Versteil, L.-A.: Abfallgesetz. München: C. H. Beck'sche Verlagsbuchh. 3. Aufl., 1991
- 93 Möller, U. J.: Entsorgungsmöglichkeiten für biologisch abbaubare Schmierstoffe. Tribol. u. Schmierungstechn. 37 (1990) 4, S. 188/92
- 94 Lafrenz, C.: Herstellung und Verwendung von Zweitraffinaten. Tribol. u. Schmierungstechn. 31 (1984) 1, S. 2/9
- 95 Fiedler, H., Engler, L. u. Schröder, G.: Technologische Probleme der Altölregenerierung. Schmierungstechn. 16 (1985) 10, S. 292/95
- 96 Möller, U. J.: Altölratgeber. Hamburg: Beratungsges. f. Mineralöl-Anwendungstechn., 3. Auflage, 1989, S. 30
- 97 Schön, C., Waldt, P. u. Möller U. J.: ENTRA-Einrohrreaktorverfahren: Ein neues Verfahren zur Aufarbeitung von Altölen aus Mineralölen und aus umweltverträglichen Schmierstoffen. Tribol. u. Schmierungstechn. 39 (1992) 2, S. 95/99
- 98 Förster, H. J.: Entwicklungsreserven des Verbrennungsmotors zur Schonung von Energie und Umwelt – Teil 2. ATZ 93 (1991) 6, S. 342/52

## 8 Bearbeiter

Dr. U. J. Möller, The Burmah Oil (Deutschland) GmbH, Hamburg  
unter Mitwirkung von  
Dr. T. Mang, Fuchs Mineralölwerke GmbH, Mannheim und  
Dr. P. Studt, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin.