

Chimia 48 (1994) 227-231
 © Neue Schweizerische Chemische Gesellschaft
 ISSN 0009-4293

Bestimmung der Bioabbaubarkeit von nicht wasserlöslichen Flüssigkeiten (Schmieröle etc.) nach CEC L-33-A-94

Werner J. Buchser* und Hans W. Jäckle

Abstract. The use of biodegradable lubricants as substitutes for lubricants based on mineral oils is necessary in areas where an impact on ecosystems is inevitable and cannot be excluded. These are applications in which a partial loss of lubricant into the environment occurs, e.g. chain saw oils, two-stroke oils for outboard motors, and hydraulic oils, which are used in sensitive areas as dredging-machines near rivers or ground water sources. The use of commercially available biodegradable base liquids for lubricants is discussed and several current examples are given. These water-insoluble products are frequently examined with the CEC test that can be used for a rough determination of the biodegradability. The development and application of this method has a long tradition at the EMPA Dübendorf. Experimental details, limits, advantages, and disadvantages will be discussed in this paper. Longterm measurements with the calibrating oils RL 130 and RL 110 together with results from a biodegradation study of several hydraulic fluids that are used in agricultural machinery are presented.

1. Einführung

Schmieröle wurden schon im Altertum verwendet, wie Darstellungen vom Pyramidenbau bei den Ägyptern belegen. Bei diesen historischen Schmierstoffen hat es sich mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit um biologisch abbaubare Stoffe gehandelt, denn sie waren pflanzlichen oder tierischen Ursprungs.

Mit der zunehmenden Förderung des Erdöls in unserem Jahrhundert wurden die pflanzlichen Öle als Schmierstoffe weitgehend durch mineralölbasierte Öle verdrängt. Ein Hauptgrund dafür ist, neben dem tiefen Preis, dass Schmieröle auf der Basis von Kohlenwasserstoffen eine bessere Temperatur- und Oxidationsstabilität aufweisen als die natürlichen Ester. Erst in den 70er Jahren wurde erkannt, dass man in sensiblen Einsatzbereichen (z.B. 2-Takt-Motoren von Schiffen) die mineralölbasierten Schmierstoffe durch biologisch abbaubare ersetzen muss, wollte man einer rigorosen Gesetzgebung, wie einem Ver-

bot der motorisierten Boote wegen der Verschmutzung der Oberflächengewässer, zuvorkommen.

Damals wurde in den sogenannten 'Zürich-Workshops' [1], mit aktiver Beteiligung der EMPA, zusammen mit Interessenten aus ganz Europa, ein Test entwickelt, um im Labor eine Substanz auf ihre biologische Abbaubarkeit untersuchen zu können. Nach Abschluss dieser Arbeiten und diversen Ringversuchen, konnte die Methode als europaweit anerkannte Norm CEC L-33-T-82 (T = tentative) veröffentlicht werden [2].

2. Anwendungsgebiete von biologisch abbaubaren Schmierstoffen

Dass der Gesetzgeber ab ca. 1970 ein Verbot für motorisierte Boote – meist handelte es sich dabei um 2-Takt-Motoren, die über den Treibstoff mit mineralölbasierten Schmierölen versorgt werden, mit der Emission von teilweise verbranntem oder unverbranntem Öl ins Wasser – vorgesehen hat, erstaunt nicht, wenn man sich vor Augen hält, dass kleinste Mengen von Öl in Wasser verheerende Wirkungen haben können. So bewirkt ein Tropfen Öl in

Tab. 1. Typische Anwendungen für biologisch leicht abbaubare Schmierstoffe

Aussenbord-2-Taktmotorenöle
Kettensägenöle
Entschalungsöle
Spurkranzschmierstoffe
Weichenschmiermittel
Hydrauliköle im
Hoch-
Tief-
und Tunnelbau
und in der Forst-
und Landwirtschaft
Schmierstoffe für
Kläranlagen
Lebensmittelindustrie
Schneemobile
und Skipistenunterhaltsgeräte

Tab. 2. Terminologie für biologisch abbaubare Stoffe

umweltpositiv
umweltfreundlich
umweltverträglich
umweltgerecht
umweltschonend
umweltneutral
umweltschützend
umweltkonform
biologisch eliminierbar
renaturierbar

einem Liter Wasser eine Lebenszeitsenkung bei Krabben von ca. 20% oder 1 mg Öl pro Liter Wasser vernichtet 60% der ersten Generation bei Krebsen und löscht die zweite vollständig aus [3].

Bei der Ölverschmutzung von Böden fällt ins Gewicht, dass für den Abbau eines Liters Schmieröl die ca. 40- bis 50fache Menge Sauerstoff benötigt wird verglichen mit demjenigen für den Abbau der häuslichen Abwässer eines Einwohners pro Tag (Einwohnergleichwert) [4]. Eine Anwendung von biologisch gut abbaubaren Schmierstoffen ist darum vor allem in den in Tab. 1 aufgeführten Bereichen angebracht.

Grundsätzlich ist ein Einsatz von biologisch gut abbaubaren Schmierölen und Schmierfetten also dort sinnvoll, wo man aus technischen Gründen mit Verlustschmierung arbeitet. Der Einsatz in weiteren Bereichen, z.B. als Hydrauliköl, hängt u.a. von der chemisch-physikalischen Eignung ab. In Zukunft könnte die Verwendung von biologisch abbaubaren 2-Takt-Ölen auch bei Landfahrzeugen (Motorfahrräder, Rasenmäher) möglich, bzw. vorgeschrieben werden.

Für biologisch gut abbaubare Schmierstoffe findet man schon heute eine enorme

*Korrespondenz: Dr. sc. nat. W.J. Buchser
 EMPA, Abt. Betriebsstoffe
 CH-8600 Dübendorf

Vielfalt von werbetechnischen Begriffen (Tab. 2). Wendungen wie 'umweltpositiv' oder '-freundlich' machen kaum Sinn, weil sie eine Verbesserung suggerieren. Umweltverträglich scheint ein tragbarer Begriff zu sein. Dafür muss ein Produkt aber nicht nur biologisch gut abbaubar sein, sondern es darf auch weder für Kleintiere und Fische noch für Menschen toxisch wirken und es muss zusätzliche Bedingungen erfüllen (Hautverträglichkeit, keine Ökotoxizität etc.). Neben den österreichischen (ÖNorm C 1030 [5]) haben vor allem die deutschen Behörden solche Anforderungen für einzelne Produkte formuliert. Um das Umweltzeichen, den sogenannten 'Blauen Engel' zu erhalten (RAL UZ-48, für Motorsägen [6]; RAL UZ-64, für Schalungsöle [7]) muss das Produkt u.a. entweder einen oder mehrere der diversen OECD-Tests (Tab. 3) oder den CEC L-33 erfüllen. Die Mindestanforderungen für die Abbaubarkeit variieren. Für die Werte aus den OECD-Tests werden 70% und für den CEC-Test 70% (RAL UZ-48) bzw. 80% (RAL UZ-64) gefordert. Für Komponenten mit einem Massenanteil von höchstens 5% am fertig formulierten Produkt muss im Zahn-Wellens-Test ein Wert von mindestens 20% erreicht werden.

Wie oben ausgeführt, wurde der Test entwickelt, um im Labor eine Beurteilung von Verschmutzungen stehender oder fließender Gewässer durch kleine Ölmenge aus 2-Takt-Motoren vornehmen zu können. Er ist somit nur beschränkt auf andere Öle bzw. andere Biosysteme wie Böden und Pflanzen übertragbar. Das wichtigste Kriterium für die Anwendung des CEC-Tests besteht darin, dass die Komponenten des getesteten Öls nicht wasserlöslich sind, und unter den Versuchsbedingungen keine chemischen Reaktionen und keine physikalischen Änderungen (z.B. teilweises Verdunsten) stattfinden.

3. Basisflüssigkeiten für biologisch abbaubare Schmierstoffe

Aus den vorgenannten Gründen werden heute vermehrt biologisch gut abbaubare Öle eingesetzt. Die Weltproduktion von Pflanzenölen beträgt ca. 60 Millionen Tonnen pro Jahr. Davon werden ca. 15% für technische Anwendungen und für Kosmetika gebraucht [4]. Die synthetischen Öle gewinnen gegenüber den nativen eine immer größere Bedeutung. Sie unterscheiden sich in allen für Schmierstoffe wichti-

gen Grundeigenschaften zum Teil recht drastisch von Mineralölen (Tab. 4) [8].

Zu den heute verwendeten Stoffgruppen gehören: Ester, Polyalkylenglykole (PG) und Polyalphaolefine (PAO). Mit diesen synthetischen Produkten können massgeschneiderte Basisflüssigkeiten hergestellt werden. Die Abbaubarkeit der verschiedenen Flüssigkeiten ist sehr unterschiedlich (Fig. 1). Bei den Polyalkylenglykolen zum Beispiel lassen sich verschiedene Viskositäten nach Wunsch der Anwender herstellen oder man kann durch die Wahl der Synthesebedingungen sowohl wasserlösliche wie unlösliche Flüssigkeiten produzieren. Daneben existiert die ganze Palette von nicht oder kaum abbaubaren, über schlecht (wie Mineralöle) bis sehr gut abbaubaren (wie Pflanzenöle) Basisflüssigkeiten. Die eher schlecht abbaubaren Polyalphaolefine [9] können, gemäss neueren Untersuchungen von niedrigviskosen Varianten, Bioabbaubarkeiten von 50–90% im CEC-Test [10][11] erreichen. Bei den Estern hängt die Abbaubarkeit primär von der Struktur und bei den Polyalkylenglykolen auch von der Molekülmasse ab. Gemischtpolymere aus Ethylen- und Propylenmonomeren sind schlecht abbaubar. Dass Polyolester, wie die Bausteine der natürlichen Öle, die Triglyceride, sehr gut abbaubar sind, erstaunt weiter nicht. Auch viele Ester der Dicarbonsäuren sind sehr gut abbaubar. Verwendung als Schmiermittel finden z.B. die Ester der Adipinsäure. Es werden dazu Alkohole mit einer Kettenlänge von 8–15 oder mehr C-Atomen, auch mit verzweigten Ketten, verwendet. RL 130 ist ein solcher Adipinsäure-diester (Diisotridecyladipat, DITA). Es gibt jedoch auch hier Vertreter, die man als mässig gut abbaubar bezeichnen muss. Zu den schlechter abbaubaren Estern gehören die Komplexe Ester. Dabei handelt es sich um vernetzte Ester von Poly-Carbonsäuren mit Polyalkoholen (Fig. 2). Mit solchen Estern als Basisölen erhält man, besonders wenn sie kein β -H-Atom tragen, dagegen Schmieröle mit ausgezeichneten technischen Eigenschaften, wie einer guten thermischen Stabilität und einer ebenfalls ausgezeichneten Oxidationsstabilität [12]. Schlecht abbaubar sind Ester mit aromatischen Molekülstrukturen wie z.B. die Phtalsäure-ester [4].

Tab.3. Tests für die biologische Abbaubarkeit

Bezeichnung	Methode	Dauer [Tage]	Messgrösse
'Closed-bottle'-Test	OECD301 D	28	O ₂
AFNOR-Test (modifiziert)	OECD301 A	28	DOC
Sturm-Test (modifiziert)	EG-79/381	28	CO ₂
MITI-Test(modifiziert)	OECD301 C	14	BSB
'OECD-Screening'-Test	OECD301 E	19	DOC
'Manometric Respirometry'	OECD 301 F	28	O ₂
CEC-Test	CECL-33-A-94	21	C-H IR
Zahn-Wellens-Test	OECD302 B	28	DOC

Tab.4. Basisflüssigkeiten für Schmierstoffe im Vergleich

	Kosten	Abbaubarkeit	technische Eigenschaften
Rapsöl	tief	++++	+++
synthetische Ester	hoch	++++ bis -	++++
Polyalphaolefine(PAO)	eher hoch	+++ bis -	+++ -
Polyethylenglykol	eher tief	+++	++
Polypropylenglykol	eher tief	-	++
Mineralöl	tiefst	-	++

4. CEC-Test

Tab. 3 zeigt die heute üblichen Tests, um die Bioabbaubarkeit von Stoffen im Labor zu untersuchen. Der CEC L-33 – Test [2] ist der einzige, der für die Mes-

sung von Ölen (präzis von 2-Takt-Ölen) entwickelt wurde. Die andern sind für wasserlösliche oder teilweise lösliche Stoffe vorgesehen.

4.1. Durchführung

(Kurzfassung der Prüfungsvorschrift, (CEC L-33-T-82 [2]))

Zweck: Diese Testmethode beschreibt ein Verfahren, um die Bioabbaubarkeit von 2-Takt-Motorenölen in Wasser zu beurteilen.

Apparate: Handelsübliche Glaswaren, Schüttelmaschine, Zentrifuge (optional), IR-Spektrophotometer, Ultraschallbad.

Mineralsubstrat: Wässrige Nährsalzlösung, bestehend aus Calcium- und Natrium-phosphaten, Magnesium-sulfat, Ammonium- und Calcium-chlorid sowie Spurenelementen.

Inoculum: Das bakterielle Inoculum (Impfmateriel) wird aus dem Nachklärbecken der ersten oder zweiten Stufe einer Gemeindekläranlage entnommen und muss mindestens 10⁶ CFU/ml enthalten (CFU: Colony Forming Unit).

Kalibrierflüssigkeiten: CEC reference oil RL 130 (Diisotridecyl-adipat (DITA)), CEC reference oil RL 110 (Weissöl Enerpar M 2632).

Kurzbeschreibung der Methode: Testproben (je drei Gefässe), bestehend aus Mineralsubstrat, Inoculum und 50 µl einer Stammlösung (entspricht 7,5 mg Öl) des zu prüfenden Öls werden gleichzeitig mit inhibierten ('vergifteten') Proben (je zwei Gefässe), bestehend aus Mineralsubstrat, Quecksilber(II)-chlorid-Lösung und dem zu prüfenden Öl (also ohne Inoculum) während 21 Tagen auf einer Schüttelmaschine inkubiert. Parallel dazu werden Vergleichsproben angesetzt, welche anstelle des zu prüfenden Öls eine (RL 130, - oder auf Wunsch beide -) der angegebenen Kalibrierflüssigkeiten enthalten.

Am Ende der Inkubationszeit werden die Proben (wenn für die Homogenisierung nötig) mit Ultraschall behandelt, mit HCl angesäuert und mit 1,1,2-Trichlorotrifluoroethan (früher auch mit CCl₄) extrahiert. Die Extrakte analysiert man anschliessend mittels IR-Spektroskopie, wobei die maximale Absorption der Bande bei 2930 ± 10 cm⁻¹ ausgewertet wird.

Am Tag des Ansatzes ('0-Tage-Werte') bestimmt man auf die gleiche Weise drei Test-Proben (recovery rate). Zusätzlich wird die eingesetzte Ölmenge direkt im nötigen Volumen des Extraktionsmittels gelöst und im IR gemessen (sogennannter 100%-Wert). Darüberhinaus muss der Kohlenwasserstoffgehalt des Mineralsubstrats zusammen mit der in den Tests

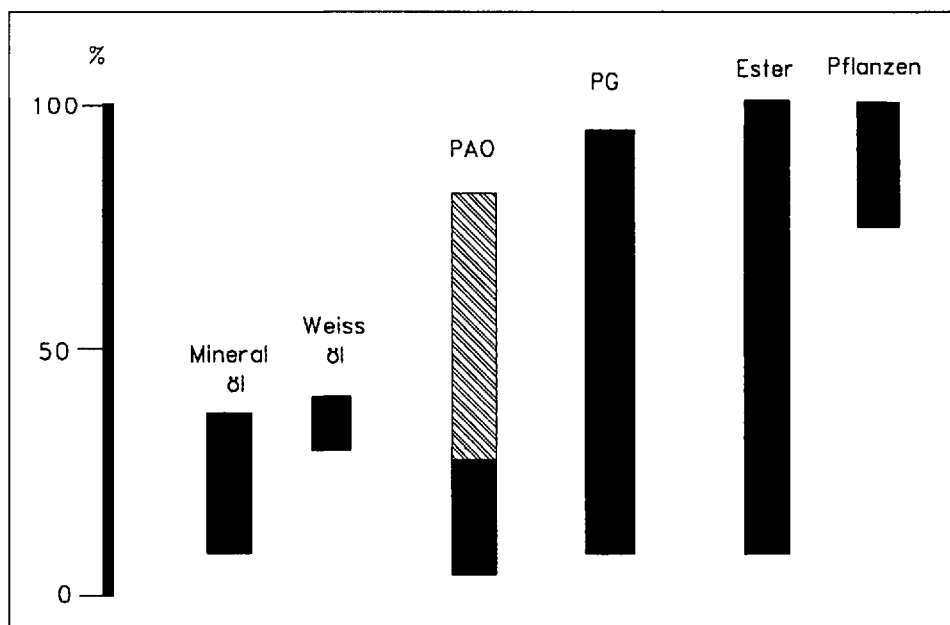


Fig. 1. Die Abbaubarkeit (CEC L-33) verschiedener Basisflüssigkeiten

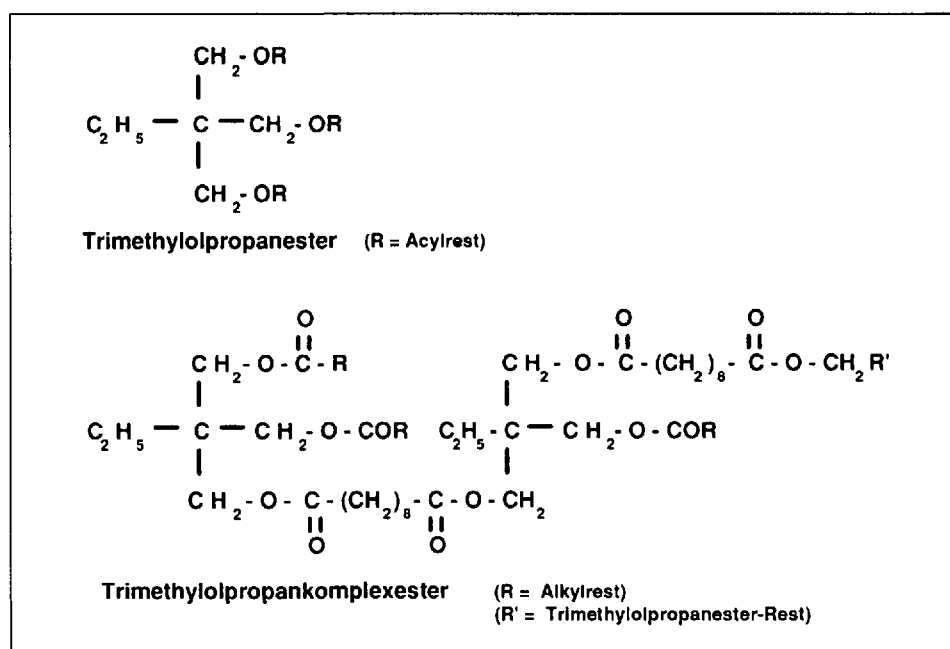


Fig. 2. Beispiel eines Polyol- und eines Komplex-Esters

eingesetzten Inoculummenge ermittelt ('Neutrale Lösungen' = Blindwerte) werden.

Testbedingungen: Die Inkubation verläuft bei 25 ± 1° in Dunkelheit.

Auswertung: Die Differenz zwischen Restölgehalt der inhibierten Proben (P) und der Testproben (T), bezogen auf die inhibierten Proben und ausgedrückt in Prozenten, wird als Bioabbaubarkeit bezeichnet ((P-T)/P*100).

Prüffehler (in Ringversuchen ermittelt): Wiederholbarkeit: 10% absolut; Vergleichbarkeit: 20% absolut.

4.2. Vor- und Nachteile des Tests

Die relativ einfache Durchführbarkeit ist eine wichtige Voraussetzung, dass eine

normierte Methode eine breite Anwendung finden kann. Der CEC-Test erfüllt diese Anforderung. Einzig das Lösungsmittel 1,1,2-Trichlorotrifluoroethan (Freon R 113), das durch die Gesetzgebung in den letzten Monaten eine Verknappung und dadurch eine markante Teuerung erfuhr, könnte hier hemmend wirken. Die Referenzflüssigkeiten können von den autorisierten Verteilern des CEC [13] bezogen werden.

Die Bioabbaubarkeit einer unbekannt Substanz lässt sich mit diesem Test in relativ kurzer Zeit ermitteln. Der Test liefert aber nicht nur gute Resultate bei Screenings (z.B. Entwicklung von neuen Basisölen für Schmierstoffe oder neuen Additiven), sondern er ist auch für seinen ur-

Tab. 5. Bioabbaubarkeit in % von gebrauchten Hydraulikölen

Probe Nr.	Maschine	Ölfüllung/ seit	Betriebsstd. bis 10-1992	Betriebsstd. bis 10-1993	Messung 1992/93 [%]	Messung 1993/94 [%]
A	–	Frischöl A	0	0	100	–
1	Greiferkran	A/06-1990	ca. 75	ca. 100	98	98
2	Greiferkran	A /04-1989	270	ca. 330	94	99
3	Greiferkran	A /04-1989	280	ca. 350	100	99
4	Greiferkran	A/03-1990	105	ca. 135	94	93
8	Ladekran Bazzoli	A /10-1991	1 03	ca. 231	98	94
9	Andi-Car	A/06-1992	ca. 57	ca. 151	–	94
B	–	Frischöl B	0	0	100	–
5	Greiferkran	B /03-1991	ca. 80	ca. 135	97	96
6	Greiferkran	B/03-1990	ca. 75	ca. 240	100	96
C	–	Frischöl C	0	0	97	–
7	Greiferkran	C /04-1992	–	–	92	–

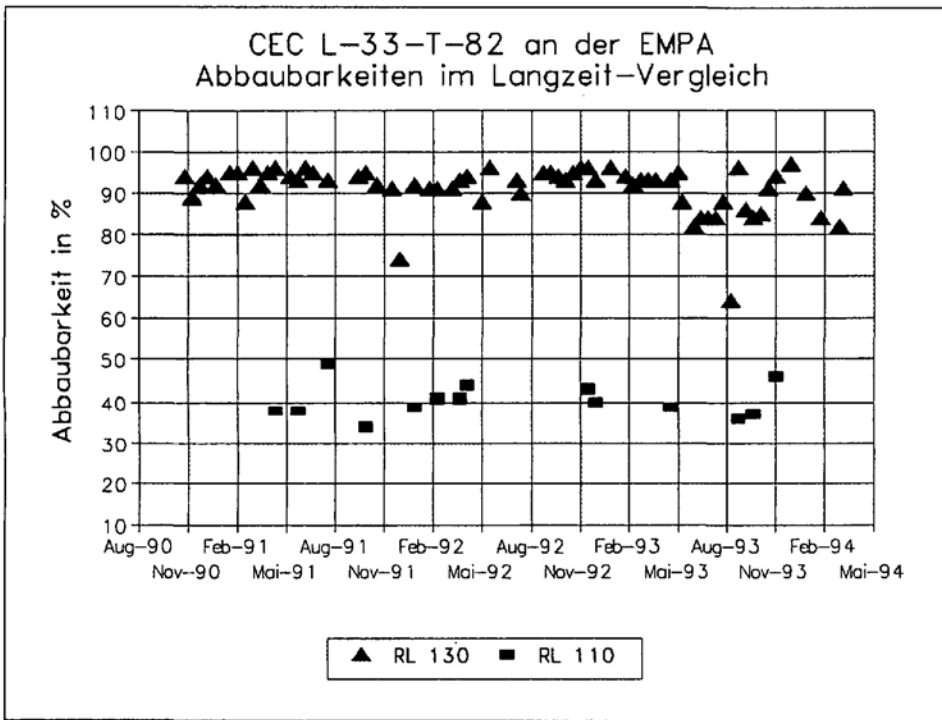


Fig. 3. EMPA-Resultate an RL 130 und RL 110 (1990-1994)

sprünglichen Anwendungsbereich, die 2-Takt-Öle, durch Feldversuche mit Schiff-fahrten auf einem künstlichen See (100 m x 20 m) bei München mit anschließender Wasseranalyse belegt [14][15].

Streng nach dem Buchstaben der Vorschrift dürften nur 2-Takt-Öle geprüft werden. Weil es aber für andere Produkte wie Sägekettöle und Hydrauliköle keine ebenso leicht anwendbaren Testverfahren gibt, wurde der CEC-Test von Beginn an auch für diese Substanzen verwendet. Eine wichtige Einschränkung gilt jedoch immer: Die Substanzen, die ge-

prüft werden sollen, dürfen nicht wasserlöslich sein, da sie sonst bei der Aufarbeitung der Proben (Extraktion mit 1,1,2-Trichlorotrifluoroethan) nicht vollständig erfasst werden.

Hier zeigt sich auch der Grund für eine häufig gehörte Vorverurteilung des Tests: wasserlösliche Metaboliten des Abbaus werden natürlich auch nicht erfasst. Da der Test aber nie den Anspruch hatte, Stoffe bis zur Mineralisation abzubauen, ist dieser Einwand hinfällig. Wären die Metaboliten toxisch für die im Test eingesetzten Mikroorganismen (Inoculum),

würde der Abbau nach einer gewissen Testdauer verzögert und dann vielleicht sogar ganz gestoppt, was sich aber in niedrigeren Werten für die Abbaubarkeit niederschlagen würde.

Die zu prüfenden Öle dürfen auch keine leichtflüchtigen Bestandteile enthalten. Die Abnahme der Testsubstanz durch Verdunsten dieser Komponenten während der Versuchsdauer würde durch die Abnahme der Werte der inhibierten Proben (P) zwar aufgedeckt. Das Resultat der Abbaubarkeit würde damit trotzdem massiv verfälscht, weil als Basisgröße mit dem Gehalt der inhibierten Proben gerechnet werden muss. Damit würde ein beträchtlicher Anteil schlecht abbaubarer Substanzen im Test nicht erfasst. Diesen Effekt hat die Vorschrift CEC L-33-T-82 nicht berücksichtigt, weil er für 2-Takt-Öle ursprünglich nicht relevant war. Diese Schwäche konnte in der überarbeiteten, genehmigten Ausgabe A-94 berücksichtigt werden.

Im weiteren dürfen auch keine chemischen Reaktionen (z.B. mit dem Quecksilber(II)-chlorid in den inhibierten Ansätzen) vorkommen. Als letzte Einschränkung ist noch anzufügen, dass Aromaten und Naphthene bei der Analytik nicht korrekt erfasst werden, weil die Messung im IR über die Valenz-Schwingung von (C-H)-Bindungen in Alkanketten erfolgt.

4.3. Normierung

Seit drei Jahren wurden vermehrt Anstrengungen unternommen, um die Auflagen des CEC zu erfüllen, mit denen die Methode vom T- ('tentative') in den A-

Status ('approved') erhoben werden kann. Die Hauptanstrengungen galten dabei der Durchführung von weiteren Ringversuchen.

Es zeigte sich dabei, dass die Unterschiede in der Arbeitstechnik marginal waren. Der Hauptgrund für den relativ hohen Wert bei der Vergleichbarkeit liegt, wie vermutet, bei der Biologie, und ist weder in der Laborarbeit noch in der Analytik zu suchen. Wichtige Änderungen wurden bei der Einschränkung für den Geltungsbereich der Methode vorgenommen. In der nun gültigen Ausgabe (CEC L-33-A-94) ist festgelegt, dass die Wiederfindungsrate bei den inhibierten Proben grösser sein muss als 80%. Für die Referenzflüssigkeit RL 130 muss mindestens eine Abbaubarkeit von 80% erreicht werden, sonst muss der Ansatz wiederholt werden.

5. Resultate

5.1. Referenzflüssigkeiten

Die Fig. 3 belegt, dass die Wiederholbarkeit der Messwerte für RL 130 bedeutend besser sein kann, als sie in der Norm vorgegeben ist. Die Standardabweichung im Zeitraum von Dezember 1990 bis Februar 1993 betrug (ohne den Ausreisserwert im Dezember 1991) 2,0 bei einem Mittelwert von 93,3% Abbaubarkeit. Daneben fällt die vergleichsweise grosse Streuung ab Mai 1993 auf (Mittelwert, ohne Ausreisser im August 93: 87,8%; Standardabweichung: 4,49). Sie widerspiegelt eine betriebliche Änderung in der ARA-Dübendorf, wo das verwendete Inoculum herkommt. Seit dem Umbau der ARA wird das Flockungsmittel nun bereits vor der Vorklärung zugegeben. Das Inoculum ist nun auch nicht mehr eine morgendliche Einzelprobe aus dem Vorklärbecken sondern es stammt aus einem Tagesdurchschnitt mit zuflussproportionaler Probenahme.

Für die 14 Werte des schlechter abbaubaren Weissöls (RL 110) ergibt dieser Langzeitvergleich einen Mittelwert von 40,4% Abbaubarkeit mit einer Standardabweichung von 4,05.

5.2. Gebrauchte Hydrauliköle

In Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftlichen Forschungsanstalt Tänikon (Probenahmen) konnten in den letzten zwei Jahren gebrauchte Hydrauliköle aus verschiedenen Landwirtschaftsmaschinen auf ihre Abbaubarkeit im CEC-Test untersucht werden (Tab. 5). Es handelt sich dabei um biologisch abbaubare Öle von drei verschiedenen Herstellern, die bis zur

ersten Probenahme teilweise vier Jahre im Einsatz waren. Die Umgebungstemperaturen betragen ca. 10–40°, die Betriebstemperatur konnte bei einzelnen Maschinen als Extremwert ca. 80° erreichen.

Bei den gebrauchten Ölen konnte keine signifikante Erhöhung der Neutralisationszahl festgestellt werden, was auf Alterungs- und/oder Hydrolyseprodukte in den Ölen hingewiesen hätte. Der Wassergehalt der Gebrauchtöle war klein (0,05 g Wasser pro 100 g Öl).

6. Diskussion

Zu den seit Mai 1993 stärker streuenden Abbaubarkeitswerten von RL 130 kann als Vermutung angeführt werden, dass im Inoculum des Tagesdurchschnitts der Anteil an Tensiden grösser ist als früher bei der morgendlichen Probenahme. Die Zusammensetzung und Aktivität des Inoculums aus der Tagessammelprobe unterliegt stärkeren Schwankungen als dies bei der morgendlichen Einzelprobe, in der die Haushaltabwässer dominieren, der Fall ist. Es ist bekannt, dass ein hoher Stickstoffgehalt des Abwassers die Abbaugeschwindigkeit erhöht [16].

Die Bioabbaubarkeit der gebrauchten Hydrauliköle ist nur geringfügig kleiner geworden, so dass man in den bisher untersuchten Fällen immer noch von sehr gut abbaubaren Flüssigkeiten sprechen darf. Ein signifikanter Einfluss von eventuell gebildeten Alterungsprodukten und/oder Metallspuren (die als Abrieb in allen gebrauchten Ölen vorkommen) auf die biologische Abbaubarkeit konnte somit nicht festgestellt werden.

7. Schlussfolgerung

Bei der Bestimmung der Bioabbaubarkeit nach der Methode CEC L-33-T-82 konnte gezeigt werden, dass für die Werte von RL 130 eine wesentlich bessere Wiederholbarkeit resultiert, als sie in Ringversuchen ermittelt wurde.

Unter Berücksichtigung der Wiederholbarkeit des CEC-Tests lassen sich die gefundenen Werte bei den gebrauchten Hydraulikölen nur so interpretieren, dass deren Abbaubarkeit durch den Gebrauch nicht reduziert wurde. Diese Resultate reihen sich unter jene aus den bisher wenigen andern Untersuchungen gut ein. Man kann also die Aussage von Murr [16] bekräftigen: 'Ein biologisch gut und schnell abbaubares Produkt ist selbst im gebrauchten Zustand in der Regel ein gut biologisch abbaubares Produkt'.

Eingegangen am 8. April 1994

- [1] Scientific Workshop on the Biodegradability of Two Stroke Emissions in Natural Water; Minutes of the 5th meeting (14/15.5.1981) in Dübendorf-Zürich – CEC-Report, Dübendorf, 1981.
- [2] Biodegradability of Two Stroke Cycle Outboard Engine Oils in Water, CEC L-33-T-82; CEC: Co-ordinating European Council for the Development of Performance Tests for Lubricants and Engine Fuels-London, 1982. Ab 1994: CEC L-33-A-94 - Brüssel, 1994.
- [3] E. Pelzer, *Arbeitskreis Schriftumsauswertung Schmierungstechnik* **1990**, 14, 1.
- [4] U.J. Möller, *Tribologie und Schmierungstechnik* **1990**, 37, 188.
- [5] Schmierstoffe: Sägekettensöl auf Pflanzenölbasis – Anforderungen. ÖNorm C 1030, Entwurf vom 15.9.90.
- [6] RAL (Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.), Biologisch schnell abbaubare Kettenschmierstoffe für Motorsägen. Grundlage für Umweltzeichenvergabe RAL UZ48, Bonn, Januar 1989.
- [7] RAL (Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.), Biologisch schnell abbaubare Schmierstoffe und Schälöle. Grundlage für Umweltzeichenvergabe RAL UZ64, Bonn, 1991.
- [8] W.J. Bartz, Handbuch der Tribologie und Schmierungstechnik, Kap. 3.8.4 in Arbeitskreis Schriftumsauswertung Schmierungstechnik.
- [9] Environmentally Acceptable Lubricants, *Industrial Lubrication and Tribology* **1993**, 45, 8.
- [10] J.F. Carpenter, *Industrial Lubrication and Tribology* **1993**, 45, 2.
- [11] J.F. Carpenter, Ökologische und ökonomische Aspekte der Tribologie, 9. Internationales Kolloquium 11.–13. Januar 1994, Technische Akademie Esslingen, (ISBN 3-924813-31-0).
- [12] H.-G. Schmidt, *Tribologie und Schmierungstechnik* **1994**, 41, 14.
- [13] Bezugsquellen für RL 130 und RL 110: Liste der Anbieter über: CEC Secretariat – Madou Plaza 25th Floor – Place Madou 1, B 1030 Brussels, Belgium. Lieferung zur Zeit durch: H. Krüger, Prüfmaschinenbau, Rilkeweg 13, D-68794 Oberhausen-Rheinhausen.
- [14] B. Wachs, H. Wagner, *Z. Wasser-Abwasser-Forschung* **1990**, 23, 1.
- [15] B. Wachs, H. Wagner, P. van Donkelaar, *Sci. Total Environ.* **1992**, 116, 59.
- [16] T. Murr, *Mineralöltechnik* **1992**, 37, 1.