UNION ZUR FÖRDERUNG VON OEL- UND PROTEINPFLANZEN E.V.

Projektbericht

"Biodiesel & Sportschifffahrt in der Euregio Bodensee"

UNION ZUR FÖRDERUNG VON OEL- UND PROTEINPFLANZEN E.V.

Projektbericht

"Biodiesel und Sportschifffahrt in der Euregio Bodensee"

Hans Plaettner-Hochwarth
ArgeFun – Arbeitsgemeinschaft Freizeit und Natur Bodensee e.V.

Prof. Dr.-Ing. Klaus Schreiner
Fachhochschule Konstanz

Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V.

Fachhochschule Konstanz
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Gestaltung
University of Applied Sciences

bodensee segler verband

Inhalt

Seite

1	Einleitung	8
2	Biodiesel und Sportboote	8
3	Ausgangslage	9
4	Projekt „Biodiesel und Sportschifffahrt in der Euregio Bodensee“	9
4.1	Projektteam	9
4.2	Projektteilnehmer	10
4.3	Sponsoren	11
4.4	Projektziele	11
5	Erfahrungen und Ergebnisse	11
5.1	Kontakt zu den Motorenherstellern	11
5.2	Projektteilnehmer	12
5.3	Kraftstoffversorgung	12
5.4	Umrüstung der Boote	13

Seite

5.5	Fahrtenbücher	13
5.6	Ölanalysen	15
5.7	Kraftstoffanalysen	20
5.8	Lagerstabilität von RME in geschlossenen Kanistern	23
5.9	Typische Störungen	26
5.10	Rückmeldungen von den Projektteilnehmern	29
5.11	Weitere Aktivitäten	31
6	Zusammenfassung und weiteres Vorgehen	31
7	Literaturverzeichnis	33
8	Bezugsquellen	34
Anlage 1:	Fahrtenbuch	35
Anlage 2:	Europäische Norm EN 14214 für Biodiesel	38
Anlage 3:	Musterölanalyse	39

UNION ZUR FÖRDERUNG VON OEL- UND PROTEINPFLANZEN E.V.

Vorwort

Den umweltbewussten Wassersportlern am Bodensee ist bekannt, dass sie ihren herrlichen Sport nicht nur auf einem schiffbaren Gewässer ausüben, sondern dass dieses Revier zugleich Trinkwasserspeicher für über 4,5 Millionen Menschen und Heimat einer einzigartigen Flora und Fauna ist. Sie schätzen es, ihren Sport in einer intakten Umwelt und reizvollen Umgebung ausüben zu können, die zu schützen in ihrem eigensten Interesse liegt. Dennoch sieht sich besonders der motorisierte Wassersport auf diesem internationalen Binnengewässer häufig im Kreuzfeuer der Kritik von Umwelt- und Naturschutzverbänden und der Wasserversorgung. Durch die von den fossilen Treibstoffen der Bootsmotoren ausgehende Gefährdung des Wassers war man schon einige Zeit auf der Suche nach Alternativen, als Mitte der neunziger Jahre Versuche mit dem nachhaltigen und ungiftigen aus Pflanzenöl durch Umesterung gewonnenen Rapsölmethylestern erste Erfolge zeigten. Die Ungiftigkeit und schnelle biologische Abbaubarkeit überzeugte auch Wassersportler, diesen Treibstoff am Bodensee zu testen. Die Idee wurde von der Arbeitsgemeinschaft Freizeit und Natur Bodensee e.V. (Arge FUN) gefördert und vom Bodensee-Segler-Verband (BSVb) sowie vom Internationalen Bodensee-Motorboot-Verband (IBMV) als Projekt aufgenommen. Man war ganz im Sinne der Bodensee Agenda 21 überzeugt, mit diesem Biodiesel kurzfristig eine sofortige und kostengünstige, positive Wirkung für den Umweltschutz am Bodensee zu erreichen. Gleichzeitig hatte man den Sicherheitsfaktor, die Reichweite und die Leistung zur Verfügung, welche Dieselmotoren in zuverlässigem Umfang reviergerecht bieten.

Mit der finanziellen Unterstützung durch die Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP) und durch viele Wissenschaftler ideell unterstützt konnte das auf drei Jahre anberaumte Projekt „Biodiesel und Sportschifffahrt in der Euregio Bodensee“ starten. Durch dieses Vorhaben sollte auch gezeigt werden, dass die Wassersportler selbst ohne behördliche Auflagen bemüht sind, Umweltschutz im Rahmen der momentanen technischen Möglichkeiten zu betreiben.

Der vorliegende Abschlussbericht fasst die Ergebnisse des Projektes zusammen. Parallel zu diesem Abschlussbericht wurde eine Umrüstanleitung im Anhang der Schrift erstellt, mit Hilfe derer Interessenten die Umrüstung ihres Bootes auf den Betrieb mit Biodiesel problemlos durchführen können und mit der auch die Service-Stationen informiert werden.

Das Biodiesel-Projekt konnte nur durch die finanzielle Unterstützung durch die UFOP und die ehrenamtliche Tätigkeit vieler durchgeführt werden. Unser Dank gilt insbesondere:

- der UFOP, speziell Herrn Dieter Bockey, für die finanzielle Unterstützung
- Herrn Dr. Jürgen Fischer, Oelmühle Leer Connemann GmbH & Co., für die nahezu unzähligen Kraftstoffanalysen
- den 24 Projektteilnehmern, die ihre Boote und ihre Motoren für dieses Projekt zur Verfügung gestellt haben
- den Motorenherstellern für ihre Unterstützung, speziell
- Herrn Bernd Reinitz, VOLVO PENTA Central Europe GmbH
- Herrn Hans-Jörg Bucksath, Friedrich MARX GmbH&Co, Yanmar Importeur
- Herrn Udo Becker, BETA MARINE Schiffsdieselmotoren
- Herrn Thomas Holzhüter, Farymann Diesel
- Herrn Udo Sander und Herrn Thomas Bader, Volkswagen AG
- Herrn Josef Schießl, Motorenfabrik HATZ KG
- den Mitarbeitern von Nanni diesel
- den Biodiesel-Experten für die fachliche Beratung, speziell
- Herrn Dr. Onno Syassen, Hemsbach
- Herrn Henning von Wedel, Motorenwerke Bremerhaven AG (MWB)
- Herrn Karl-Heinz Scharf, Saarberg Bioenergie
- Herrn Günther, GÜNTHER ENERGIE & SERVICE, Lahr
- den Experten am Bodensee für die vielfältige Unterstützung, speziell
- Herrn Jens Krose, Präsident des BSVb
- Herrn Dr. Hans-Luzius Studer, ehemaliger Präsident des BSVb und Präsident der IWGB
- Herrn Hans-Joachim Kurz, Präsident des Internationalen Bodensee Motorboot Verband (IBMV) und des Motor-Yacht-Club Obersee (MYCO)
- Herrn Hans-Dieter Möhlhenrich, Internationale Bodensee-Nachrichten
- Herrn Ulrich Kaufmann, Wallhausen
- Herrn Clemens Meichle, Wassersport-Zentrum Kressbronn
- Herrn Dieter Haertl, Geschäftsführer des BSVb
- Herrn Andreas Ellegast, Bodensee-Schifffahrtsamt, für die wohlwollende Unterstützung im Rahmen der BSO

Hans Plaettner-Hochwarth
ArgeFun – Arbeitsgemeinschaft Freizeit und Natur Bodensee e.V.

Prof. Dr.-Ing. Klaus Schreiner
Fachhochschule Konstanz

UNION ZUR FÖRDERUNG VON OEL- UND PROTEINPFLANZEN E.V.

Kurzfassung

Nach drei Jahren Projektlaufzeit „Biodiesel und Sportschifffahrt in der Euregio Bodensee“ kann das Projekt-Team eine durchaus positive Zwischenbilanz ziehen. Die Boote der 24 Teilnehmer wurden insgesamt 2525 Stunden mit RME betrieben. Dabei sind nur an vier Motoren der früheren Baujahre RME-bedingte Störungen aufgetreten, welche mit geringen Mitteln behoben werden konnten. Im Verlauf dieser drei Jahre wurden in diesem erstmalig mit Sportbooten durchgeführten Flottenversuch umfangreiche Erfahrungen mit RME gesammelt, die in einem Handbuch zur Umrüstung von Sportbooten für den Betrieb mit Biodiesel festgehalten wurden.

Grundsätzlich können Dieselmotoren im maritimen Bereich unter Berücksichtigung einiger RME-spezifischer Eigenschaften mit diesem Treibstoff problemlos betrieben werden. Dabei müssen besonders seine Hygroskopizität, sein hoher Flammpunkt und sein lösungsmittelartiges Verhalten gegenüber älteren Elastomeren und Lacken beachtet werden. Letzteres kann besonders bei älteren Motoren zu Leckagen führen. Durch die hauptsächlich bei Segelyachten übliche Motorennutzung im Teillastbereich kommt es zu einer Anreicherung von RME im Motorenöl. Dies ist jedoch bei einer Betriebszeit von 60-90 Stunden pro Saison harmlos, da vom Motorenhersteller ohnehin ein Ölwechsel vor der Einwinterung vorgeschrieben ist. Die hygroskopische Eigenschaft von RME hat besonders bei Segelyachten mit großen Tanks zu kritischen Wasserwerten von über 1000 ppm geführt. Ein voller Tank während der Zwischensaison und Trocknungspatronen in der Entlüftungsleitung bringen hier Abhilfe. Versuche mit wasserentziehenden Orthoestern werden zurzeit durchgeführt.

Die Treibstoffversorgung mit RME am Bodensee sollte noch ausgebaut werden, da die Betankung von Motorbooten mit größerem Verbrauch aus den zum Start des Projektes angelegten Kanisterdepots nur schlecht praktikabel ist. Der an der momentan einzigen Seetankstelle im Wassersportzentrum Meichle + Mohr in Kressbronn freistehende RME-Tank wird zurzeit bei der Neugestaltung der Hafenanlage unteririsch verlegt. Somit ist der Inhalt nicht mehr den großen Temperaturschwankungen und dadurch der Anreicherung mit Wasser ausgesetzt. Auf Druck des Projekt-Teams hin haben sich nun auch die restlichen von den Projektteilnehmern benutzten Tankstellen der AGQM angeschlossen, wodurch eine Versorgung mit einwandfreier RME-Qualität nach DIN E 51606 gewährleistet ist.

Der Einsatz von RME im maritimen Bereich kann unter Berücksichtigung der oben angeführten Punkte durchaus empfohlen werden. Zum Selbstläufer soll dieser Anwendungsbereich durch diese Schrift und die weitere Betreuung von Interessenten durch das Projekt-Team über den Zeitraum von weiteren drei Jahren werden.

Abstract

After three years of the project "Biodiesel und Sportschifffahrt in der Euregio Bodensee" (Bio Diesel Fuel and Sports Boating in the Lake Constance Region), the project team can look back in the meantime on very positive experience. The boats of 24 participants had been operated for a total of 2,525 hrs with RME. During this period, only four engines – older models – had RME-related problems which were corrected with relatively little effort. During the course of those three years, extensive experience was gathered in a fleet trial for the first time, with sports boats; this has been recorded in a handbook for the conversion of such boats for operation with bio diesel fuel.

In principle, diesel engines in the marine area can be operated with this fuel without problems if some RME-specific characteristics are observed. It is, however, necessary to take into particular account the fact that it is hygroscopic, has a high flash point and solvent-like behavior with regard to older elastomeres and paints. This latter characteristic can lead to leaks, especially in older engines. When operated in the partial-load range – as it is customary primarily with sailing yachts – RME may be found in the engine oil. However, in consideration of operating times of 60 to 90 hours per season, this is harmless because the engine manufacturer specifies an oil change before the winter layup anyway. The hygroscopic characteristic of RME has led to critical water concentrations of more than 1000 ppm, especially in sailing yachts with large tanks. A full tank during the off-season and drying cartridges in the vent line improve matters. At present, trials with dehydrating ortho-esters are being carried out.

The fuel supply for RME on Lake Constance should be expanded because refueling motor boats having a larger consumption from the canister depots which had been provided for the project start, is very impractical. The only RME fuel station at the moment – Meichle + Mohr water-sports center in Kressbronn – is presently being installed underground as part of the renovation of the harbor facilities. Consequently, the tank contents will no longer be exposed to the large temperature fluctuations and, thus, enrichment with water. Due to pressure from the project team, the remaining service stations used by the project participants have joined the AGQM (a quality management organization) which will ensure the supply of RME with flawless quality which complies with DIN E 51606.

The use of RME for marine use can definitely be recommended if the items mentioned above are taken into consideration. As a result of this publication, the number of boat owners using RME and the number of service stations should increase. The support by the project team will be continued during an additional three-year period.

1 Einleitung

Die Verwendung von Biodiesel (Rapsmethylester, RME) in Dieselmotoren ist allgemein anerkannt und Stand der Technik (UFOP 2001). Die wesentlichen Vorteile sind:

- Biodiesel wird aus Rapsöl hergestellt und ist deswegen ein nachwachsender Energieträger.
- Er stammt aus heimischer Produktion, ist ungiftig und weitgehend CO_2-neutral.
- Die Ökobilanz von Biodiesel (Gärtner et al. 2002) ist ausgesprochen positiv und besser als die von naturbelassenem Pflanzenöl. Die Energiebilanz bei der Gewinnung, also das Verhältnis von eingesetzter Energie zu gewonnener Energie, beträgt 1:2,4. (Scharmer 2001, UFOP 2003)

Seine Schadstoffemissionen sind genauso gut oder besser (Ruß, Kohlenmonoxid CO, unverbrannte Kohlenwasserstoffe HC) als die von Dieselkraftstoff bzw. nur geringfügig schlechter (Stickoxide NOx).

In der vorliegenden Studie soll die Verwendung von Biodiesel in Sportbooten auf dem Bodensee näher untersucht werden.

2 Biodiesel und Sportboote

Die positiven Eigenschaften von Biodiesel legen seine Verwendung auch in Sportbooten nahe. Insbesondere der Bodensee, der ein schiffbares Gewässer und zugleich ein Trinkwasserspeicher für Millionen von Menschen darstellt, ist ein prädestiniertes Gebiet für den Einsatz von Biodiesel. So unterstützt auch das Umweltbundesamt in einer Studie (Kraus et al. 1999) die Verwendung von Biodiesel auf Binnengewässern: „Zu befürworten ist der Einsatz von RME als Treibstoff dort, wo besondere Anforderungen an den Gewässerschutz gelten, etwa in der Binnenschifffahrt, weil die gute biologische Abbaubarkeit des Rapsöls die Verschmutzungsgefahr verringert.“ Dieses Vorhaben mit seiner nachhaltigen Energienutzung entspricht besonders der Bodensee-Agenda 21. So wird dort über das Projekt geurteilt: „Aus ökologischen Aspekten besonders positiv zu bewerten, wenn auch mit begrenztem Einsatzbereich.“ (AGENDA 21)

Während die Umrüstung von Pkw-Motoren auf Biodiesel Stand der Technik ist, liegen für Wasserfahrzeuge kaum Erfahrungen vor. In einer Studie wurde die Verwendung von RME in Fischereibooten zwar untersucht (Dethloff et al. 1998), für Sportboote lagen bislang aber kaum Erfahrungen vor. Bei Sportbooten sind die Verhältnisse insofern anders als bei Pkw-Motoren, weil Sportboote nur wenige Stunden pro Jahr gefahren werden und die Motoren insbesondere von Segelbooten meistens nur im Teillastbereich betrieben werden und kaum Betriebstemperatur erreichen. Beim Einsatz von RME in Sportbooten spielen deswegen die bekannte Gefahr der Schmierölverdünnung beim Kaltstart und im Teillastbereich sowie die begrenzte Haltbarkeit des Biodiesels eine große Rolle. Hinzu kommt die bekannte hygroskopische (wasseranziehende) Eigenschaft des Biodiesels, die naturgemäß in der feuchten Umgebung auf einem Gewässer eine größere Bedeutung spielt als bei Pkw-Motoren. Deswegen wurde das Projekt „Biodiesel und Sportschifffahrt in der Euregio Bodensee“ im Jahr 2000 gestartet.

3 Ausgangslage

Auf dem Bodensee gab es schon seit einigen Jahren einige wenige Sportbootbesitzer, die ihre Motoren auf Biodiesel umgerüstet hatten. Diese machten ihre Erfahrungen alleine, wussten nichts voneinander und hatten deswegen keinen Austausch untereinander. Den Kraftstoff besorgten sie an Tankstellen im Hinterland und brachten ihn in Reservekanistern an Bord. Seetankstellen gab es keine, weil die Tankstellenbesitzer keinen Bedarf sahen. Andererseits konnten Motorboote, die einen größeren Kraftstoffverbrauch als Segelboote haben, nicht umgerüstet werden, weil es keine Seetankstellen gab.

In dieser Situation entstand 1999 die Idee, die Biodiesel-Aktivitäten auf dem Bodensee zu bündeln und Synergie-Effekte zu erzeugen. Hans Plaettner-Hochwarth war derjenige, ohne dessen Visionen das Projekt nicht realisiert worden wäre. Mit Unterstützung der Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. wurde 2000 das Projekt „Biodiesel und Sportschifffahrt in der Euregio Bodensee“ gestartet. Die wissenschaftliche Betreuung des Vorhabens wurde durch Professor Dr.-Ing. Klaus Schreiner vom Institut für Verbrennungsmotoren an der Fachhochschule Konstanz übernommen. Dies war eine Voraussetzung für den derzeitigen Stellenwert des Projektes. Die Ergebnisse dieses Projekts liegen mit diesem Abschlussbericht vor.

4 Projekt “Biodiesel und Sportschifffahrt in der Euregio Bodensee”

4.1 Projektteam

Das Projektteam besteht aus den Mitgliedern:

Hans Plaettner-Hochwarth, Projektleiter und Vizepräsident der ArgeFun – Arbeitsgemeinschaft Freizeit und Natur Bodensee e.V.
Prof. Dr.-Ing. Klaus Schreiner, Leiter des InVo – Institut für Verbrennungsmotoren an der Fachhochschule Konstanz

Dr. Hans-Luzius Studer, Präsident der IWGB (Internationale Wassersportgemeinschaft Bodensee e.V.)
Hans-Dieter Möhlhenrich, Chefredakteur der „IBN – Das Magazin für Wassersport am Bodensee“
Dieter Haertl, Geschäftsführer des BSVb (Bodensee Segler-Verband)

Ideell wird das Projekt durch die folgenden Wassersportverbände unterstützt:

Arge Fun - Arbeitsgemeinschaft Freizeit und Natur Bodensee e.V.
BSVb - Bodensee-Segler-Verband
IBMV - Internationaler Motorboot-Verband
IWGB - Internationale Wassersportgemeinschaft Bodensee e.V.

4.2 Projektteilnehmer

Das Biodiesel-Projekt betreut insgesamt 24 Teilnehmer. Die folgende Tabelle 1 listet die Teilnehmer, die verwendeten Boote und ihre Motoren auf. Aus Gründen des Datenschutzes werden die Namen der Teilnehmer nicht angegeben, sondern durch Codenummern ersetzt. Die Codenummern sind eine durchlaufende Nummerierung, der man das Beitrittsjahr zum Projekt (00: 2000; 01: 2001; 02: 2002) und den Bootstyp (S: Segelboot; M: Motorboot) entnehmen kann.

Codenummer	Motortyp	Motorleistung	Zylinderzahl	Baujahr
00-01-S	Volvo MD5C	7 kW	1	1982
00-02-S	Bukh DV10ME	7 kW	1	1985
00-03-S	Volvo Penta MD 2010 BBT	7 kW	2	1996
00-04-S	Volvo Penta MD 7A	10 kW	2	1978
00-05-S	Volvo Penta MD 2003	20 kW	3	1989
00-06-S	Yanmar 2GM20	13 kW	2	1988
00-07-S	Yanmar 2GM 20FG-EU	13 kW	2	1999
00-08-S	Yanmar 1GM10	6 kW	1	1985
00-09-M	Thornicraft TD Mandoria	70 kW	6	1982
00-10-S	BMW D 7 (Hatz)	5 kW	1	1988
00-11-S	Yanmar 1GM10C	7 kW	1	1998
00-12-S	BMW D 7 (Hatz)	4 kW	1	1989
00-13-S	Faryman 33 L 30	7 kW	1	1980
00-14-S	Volvo Penta 2020	13 kW	3	1999
00-15-S	Volvo Penta MD 2003	19 kW	3	1991
00-16-M	Volvo Penta AQ AD 31	96 kW	4	1992
01-01-S	Volvo Penta 2001	7 kW	2	1984
01-02-S	Volvo Penta 2002	13 kW	2	1985
01-03-S	Volvo Penta MD 7A	9 kW	2	1980
01-04-S	Yanmar 1GM10C	6 kW	1	1988
01-05-S	Volvo Penta 2001 SDC	6 kW	2	1992
01-06-M	Mercedes OM 326	110 kW	6	1959
01-10-S	Volvo Penta MD 2010 BBT	7 kW	2	1996
01-12-S	Yanmar YSM8	6 kW	1	1978

Tabelle 1: Motoren der Projektteilnehmer

4.3 Sponsoren

Die Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP) unterstützte das Projekt finanziell. Die Fördergelder wurden im Wesentlichen für folgende Arbeiten verwendet:

- Finanzielle Unterstützung der Projektteilnehmer bei der Umrüstung ihrer Boote auf Biodieselbetrieb (Schläuche, Dichtungen, nötige Ersatzteile für die Motoren)
- Regelmäßige Öl- und Kraftstoffanalysen für alle beteiligten Boote
- Abgasmessungen auf einem Boot
- Druck von Informationsmaterial und Porto für den umfangreichen Postversand

Die Arbeitsleistungen im Projekt erfolgten alle ehrenamtlich.

4.4 Projektziele

Das Projektteam vereinbarte folgende Ziele:

- Förderung eines breiten Einsatzes von Biodiesel in Sportbooten unter Berücksichtigung aller erdenklichen Faktoren
- Pilotprojekt für alle Binnengewässer
- Aufklärung der Bootsbesitzer und der Bevölkerung
- Schaffung von Kontakten zu den Motorenherstellern, um deren Unterstützung zu erlangen
- Wissenschaftlich fundierte Untersuchungen an den Motoren
- Erkennung von Schwachstellen bei der Anwendung von Biodiesel
- Beachtung der besonderen Betriebsbedingungen in Segelyachten
- Regelmäßige Motorenölanalysen
- Versuche mit speziellen Korrosionsschutz-Motorenölen
- Langzeit-Lager-Versuche von RME
- Auswertung von Fahrtenbüchern und Teilnehmer-Befragungen
- Unterstützung der Motorumrüstungen (z.B. bei der Beschaffung von RME-beständigen Schläuchen, Dichtungen und Motorenersatzteilen)
- Optimierung der Treibstoff-Versorgung am Bodensee, um Motorboote an einer Seetankstelle betanken zu können
- Erstellung einer „Gebrauchsanweisung“ für Anwender und Werkstätten
- Aufbau einer Versuchsflotte mit ca. 20 bis 30 Teilnehmern
- Fachliche Betreuung der Projektteilnehmer
- Verwendung von einheitlichem, normgerechtem Kraftstoff, am besten von nur einem Lieferanten

5 Erfahrungen und Ergebnisse

5.1 Kontakt zu den Motorenherstellern

Die Umrüstung von Bootsmotoren für RME könnte eigentlich Stand der Technik sein. So geben beispielsweise Volkswagen und Audi ihre Pkw-Dieselmotoren seit 1996 generell für den Betrieb mit Biodiesel frei. Die Hersteller von Bootsmotoren haben aber im Allgemeinen kein großes Interesse daran, für den relativ begrenzten Markt am Bodensee eigene und kostspielige Entwicklungsarbeiten durchzuführen. Deswegen gibt es nur wenige Motorhersteller, die aktiv die Umrüstung ihrer Motoren auf RME betreiben.

Auf der anderen Seite wird das Biodiesel-Projekt von vielen Motorherstellern aufmerksam beobachtet. Einige Hersteller, zum Beispiel Volvo Penta und Marx, der Importeur von Yanmar Motoren, unterstützen das Projekt, indem sie so genannte Patenschaften übernommen ha-

ben. Durch diese Patenschaften sollen Schäden, die auf den Betrieb mit RME zurückzuführen sind, auf dem Wege der Kulanz schnell und unbürokratisch behoben werden.

Im Rahmen des Biodiesel-Projektes ist es gelungen, die Unterstützung von vielen Motorenherstellern zu erhalten. Die Namen der Firmen sind in der Tabelle 1 der Umrüstanleitung aufgeführt.

5.2 Projektteilnehmer

Um Projektteilnehmer mit etwas Pioniergeist zu finden, wurden in vielen Yachtclubs am Bodensee und deren Verbänden Informations- und Vortagsveranstaltungen durchgeführt. In den Bootszeitschriften (z.B. IBN - Das Magazin für Wassersportler am Bodensee) wurde hierüber berichtet. Da die Wassersportler besonders in diesem Revier sehr für umweltfreundliches Verhalten sensibilisiert sind, wurden bereits zum Start des Projektes 16 Teilnehmer gefunden. Diese Anzahl konnte bis Anfang 2003 auf 24 erhöht werden, wurde jedoch vorerst darauf beschränkt, um die umfangreiche Betreuung sicherzustellen. Aus den oben beschriebenen Gründen der Treibstoffversorgung sind nur drei Motorboote in der Versuchsflotte. Dies ist für die Ergebnisse jedoch nicht negativ, da sich besonders bei den Segelbooten Forschungsbedarf herausstellte.

5.3 Kraftstoffversorgung

Zu Beginn des Projekts gab es die typische Situation: See-Tankstellen waren nicht bereit, Biodiesel anzubieten, weil es anscheinend keinen Bedarf auf dem Bodensee gab. Die Bootsbesitzer hingegen wollten ihre Boote nicht auf Biodiesel umrüsten, weil es keine Tankstellen gab. Hier setzte des Biodiesel-Projekt einen Anfang, indem an einigen Stellen am Bodensee (vergleiche Tabelle 3 in der Umrüstanleitung) Kanisterdepots mit Biodiesel eingerichtet wurden. Zumindest die Besitzer von Segelbooten, die üblicherweise kleine Tanks haben, konnten hier ihren Bedarf decken. Auch einige Motorboote wurden, wenngleich umständlich, mit Kanistern betankt. So konnten in der ersten Saison (2000) 16 Projektteilnehmer, darunter zwei Motorboote, mit RME versorgt werden. In der zweiten Saison (2001) ist es dann gelungen, den Besitzer der Seetankstelle im Wassersportzentrum Kressbronn davon zu überzeugen, Biodiesel in sein Programm aufzunehmen. Besonders an diesem Ort ist die Seetankstelle für RME von großer Bedeutung, da hier über 2000 Boote ihren Liegeplatz haben und dadurch ein großes Potential an Interessenten erwartet werden kann. So können mittlerweile auch größere Motorboote problemlos mit Biodiesel versorgt werden.

Die ursprüngliche Idee, ausschließlich Markenkraftstoff der Oelmühle Leer Connemann GmbH.+Co. zu verwenden, war praxisfremd, da sich die Projektteilnehmer an den ihnen am nächsten liegenden (Land-)Tankstellen rings um den Bodensee versorgten. Diese Auto-Tankstellen beziehen ihren Kraftstoff von eigenen Lieferanten, worauf das Projekt erst im dritten Jahr unter massiven Druck Einfluss nehmen konnte.

Die Tatsache, dass die Projektteilnehmer ihren Kraftstoff von verschiedenen Tankstellen bezogen, führte dann auch zu Problemen, auf die im Abschnitt 5.7 eingegangen wird.

5.4 Umrüstung der Boote

Die Boote wurden gemäß Abschnitt 2 der Umrüstanleitung von den Bootsbesitzern umgerüstet. Die notwendigen Materialien (Schläuche und Dichtungen) wurden vom Projekt zur Verfügung gestellt.

5.5 Fahrtenbücher

Alle Projektteilnehmer erhielten Fahrtenbücher (vergleiche Anhang 1), in denen sie die Fahrzeiten sowie besondere Vorkommnisse oder Beobachtungen notierten. Aufgrund dieser Eintragung sind folgende Daten bekannt (vgl. Tabelle 2):

Betriebsstunden mit Biodiesel auf dem Bodensee	**2000**	**559 h**
	2001	**829 h**
	2002	**1137 h**
	2000 - 2002	**2525h**
Mittlere Zahl von Betriebsstunden pro Boot und Jahr	**2000**	**35 h**
	2001	**36 h**
	2002	**47 h**
Max. Zahl von Betriebsstunden eines Bootes in den drei Jahren		**472 h**
Min. Zahl von Betriebsstunden eines Bootes in den drei Jahren		**16 h**
Typisches Lastprofil	**Leerlauf**	**13 %**
	Teillast	**72 %**
	Volllast	**15 %**

Tabelle 2: Ergebnisse der Lastprofilbeobachtung

Da aus Kostengründen keine Betriebsdatenerfassung auf den Booten installiert werden konnte, wurde das Lastprofil von den Teilnehmern abgeschätzt. Die drei Bereiche wurden folgendermaßen definiert:

Leerlauf: Leerlaufdrehzahl und Drehzahlen darüber bis etwa 1200/min
Volllast: Max. Drehzahl und die letzten 500/min darunter
Teillast: Alle anderen Drehzahlen

Bild 1 zeigt die Betriebszeiten der einzelnen Projektteilnehmer im Biodieselbetrieb in den Jahren 2000 bis 2002. Das Bild 2 zeigt grafisch das mittlere Lastprofil aller Teilnehmer.

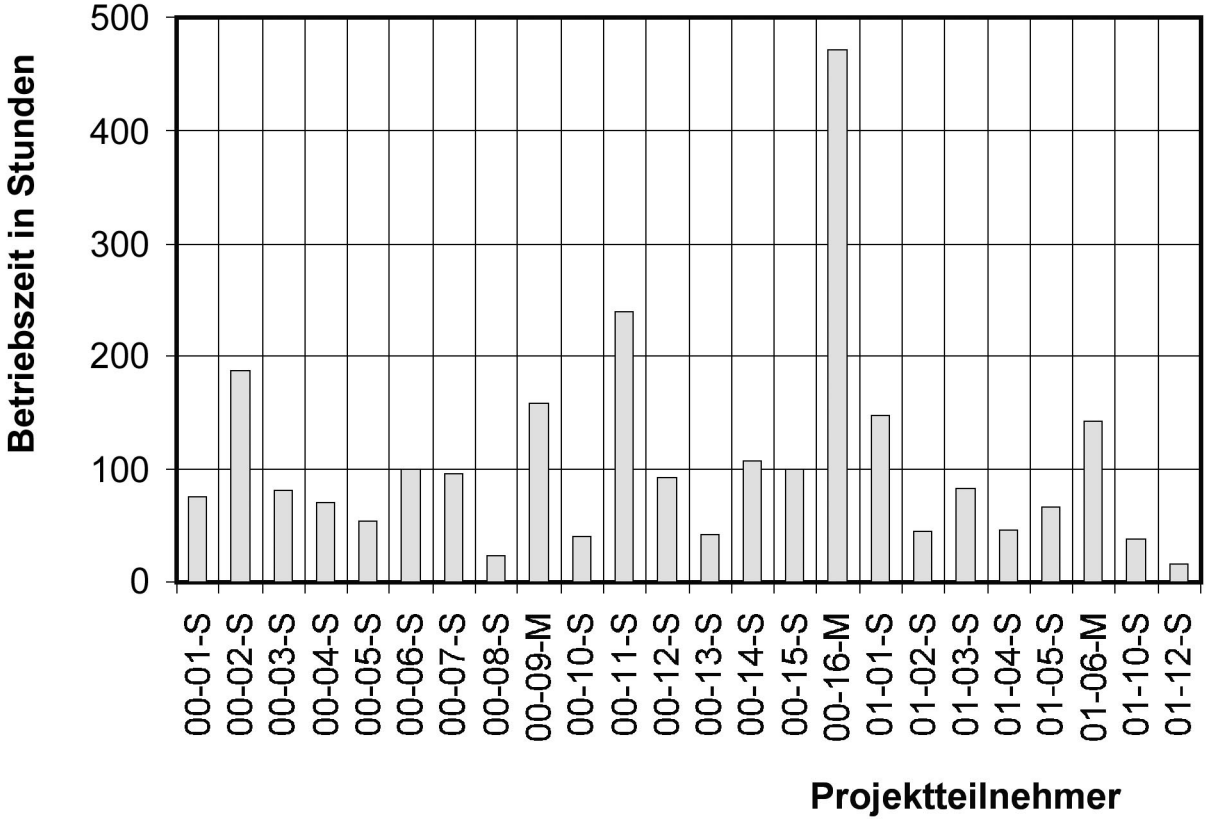

Bild 1: Betriebszeiten der einzelnen Motoren mit Biodiesel im Projektzeitraum (2000-2002)

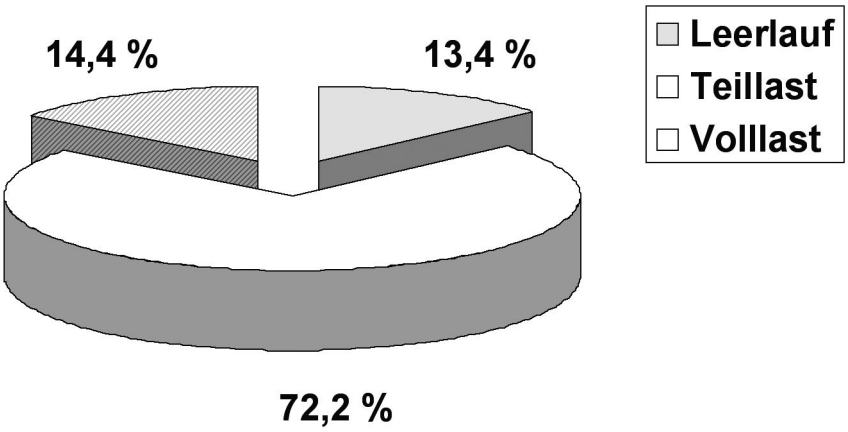

Bild 2: Über alle Projektteilnehmer gemitteltes Lastprofil

5.6 Ölanalysen

Bei allen Booten wurden mindestens einmal pro Jahr am Ende der Saison (vor dem jährlichen Ölwechsel) Ölproben gezogen und bei der Fa. Wearcheck analysiert. Wearcheck analysiert das Öl hinsichtlich 29 Eigenschaften. (Im Anhang 3 ist eine Musteranalyse zu sehen.)

Mit den Ölanalysen kann man zwei unterschiedliche Ziele verfolgen: Zum einen könnte man auf Grund der Ergebnisse das Ölwechselintervall über den in den Service-Vorschriften festgelegten Wert hinaus verlängern. Dies wurde im Biodiesel-Projekt aber nicht empfohlen, da die Motorenhersteller zusätzlich zum betriebsdauerabhängigen Ölwechsel auf jeden Fall einen jährlichen Ölwechsel vorschreiben. Zum anderen kann man eine Ölanalyse durchführen, um Informationen über den Motorzustand zu erhalten. Dies war die wesentliche Motivation für Ölkontrollen im Biodiesel-Projekt. Es wurde nämlich befürchtet, dass die Motoren durch den Betrieb mit dem hygroskopischen Biodiesel in einer feuchten Umgebung Schaden nehmen könnten. Hinzu kommt, dass bekanntermaßen Biodiesel aufgrund seines hohen Flammpunktes gegenüber fossilem Diesel zu einer Motorölverdünnung führen kann.

Es zeigte sich, dass bei fast allen Booten und fast immer die meisten Kennwerte unbedenklich waren. Auffällig waren bei einigen Booten lediglich folgende Größen:

Kenngröße	Normierungswert	Mögliche Ursachen
Eisen (Fe)	100 mg/kg	Lagerverschleiß
Aluminium (Al)	30 mg/kg	Kolben- oder Zylinderverschleiß
Chrom (Cr)	25 mg/kg	Kolbenring- oder Nockenwellenverschleiß
Kupfer (Cu)	30 mg/kg	Lagerverschleiß
Blei (Pb)	45 mg/kg	Gleitlagerverschleiß
Silizium, Staub (Si)	30 mg/kg	Verschmutzung
Kraftstoff (RME)	5 %	Schmierölverdünnung durch Biodiesel
Wasser (H_2O)	0,2 %	kann zu Korrosion oder Kavitation führen
Ruß	1,5 %	Öl zu alt, Probleme mit dem Einspritzsystem

Tabelle 3: Auffällige Parameter der Ölanalysen und möglichen Ursachen

Der Grenzwert, ab dem die einzelnen Werte auf Probleme hinweisen, ist natürlich von Kenngröße zu Kenngröße unterschiedlich. Hinzu kommt, dass manche Ölsorten einzelne Komponenten als Additiv enthalten können. Insofern muss man bei einer Ölanalyse auch immer die Ölsorte angeben.

Um trotzdem einheitliche und übersichtliche Diagramme für alle Projektteilnehmer erstellen zu können, wurden die Ölanalysenwerte mit den in der Tabelle 3 angegebenen Normierungswerten normiert. Die Normierungswerte wurden in Absprache mit Wearcheck festgelegt. Werte über 100% bedeuten dann aber nicht, dass ein Schaden vorliegt oder dass das Öl ausgewechselt werden müsste. Werte über 100% bedeuten vielmehr, dass man die Werte genauer anschauen und über längere Zeit beobachten sollte.

Interessant ist, dass bei einigen Booten ein erhöhter Wert von Silizium und damit Staub im Motorenöl festgestellt wurde. Sportboote werden im Gegensatz zu Straßenfahrzeugen in einer sauberen Umgebung eingesetzt. Deswegen ist eine Verschmutzung des Öls durch Staub kaum zu erklären. Eine mögliche Ursache könnten Reparaturarbeiten an Bord des Bootes sein. Bei Bohrarbeiten am Rumpf des Bootes, der häufig aus glasfaserverstärktem Kunststoff hergestellt ist, fallen große Mengen an siliziumhaltigem Staub an, die den Motor schädigen können. Bootsbesitzer müssen peinlich genau darauf achten, ihren Motor bei Rumpfarbeiten staubdicht zu verschließen und nach Abschluss der Arbeiten den Motorraum gründlich zu reinigen.

Die folgenden Abbildungen zeigen typische Trendbeobachtungen bei den Ölanalysen. Dargestellt sind jeweils Ergebnisse der Ölanalysen in normierter Form über der Zeitachse.

Bild 3 zeigt die Ergebnisse eines Bootes, bei dem längere Zeit kein Ölwechsel stattfand. Man kann gut erkennen, wie die Werte im Laufe der Zeit ansteigen. Nach dem Ölwechsel sind die Ergebnisse deutlich besser. Die durchweg hohen Siliziumwerte deuten auf eine Verschmutzung durch GFK-Staub hin.

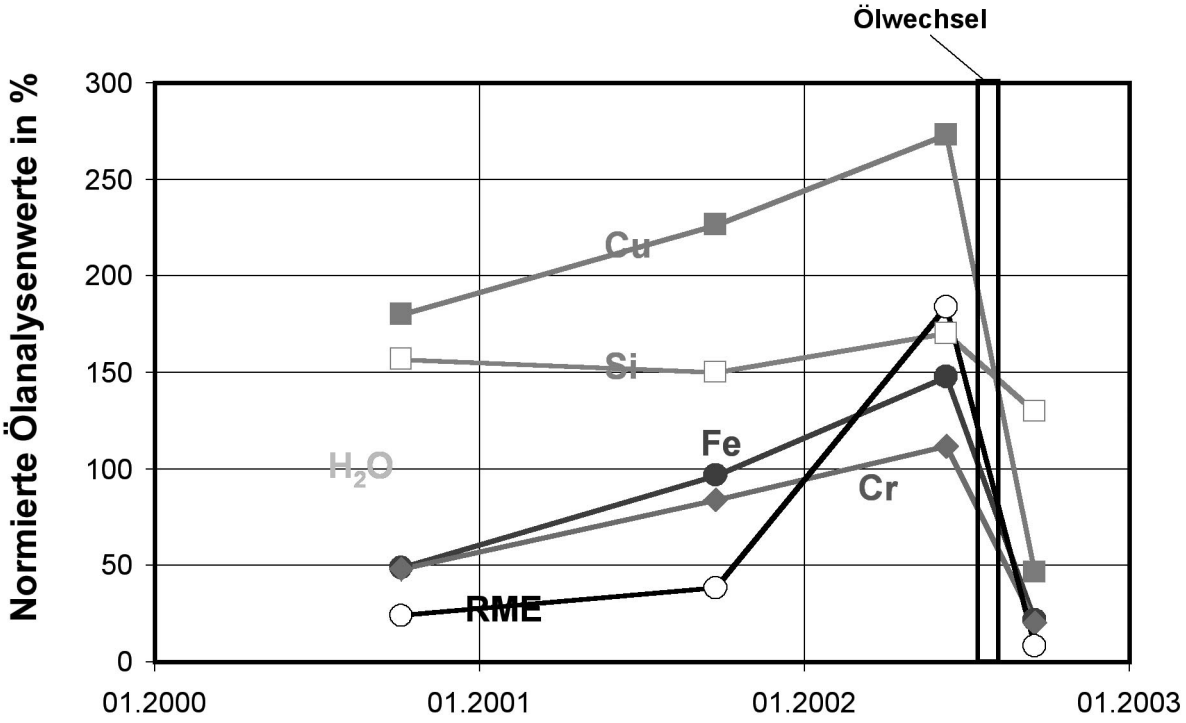

Bild 3: Ölanalyse des Bootes 00-07-S

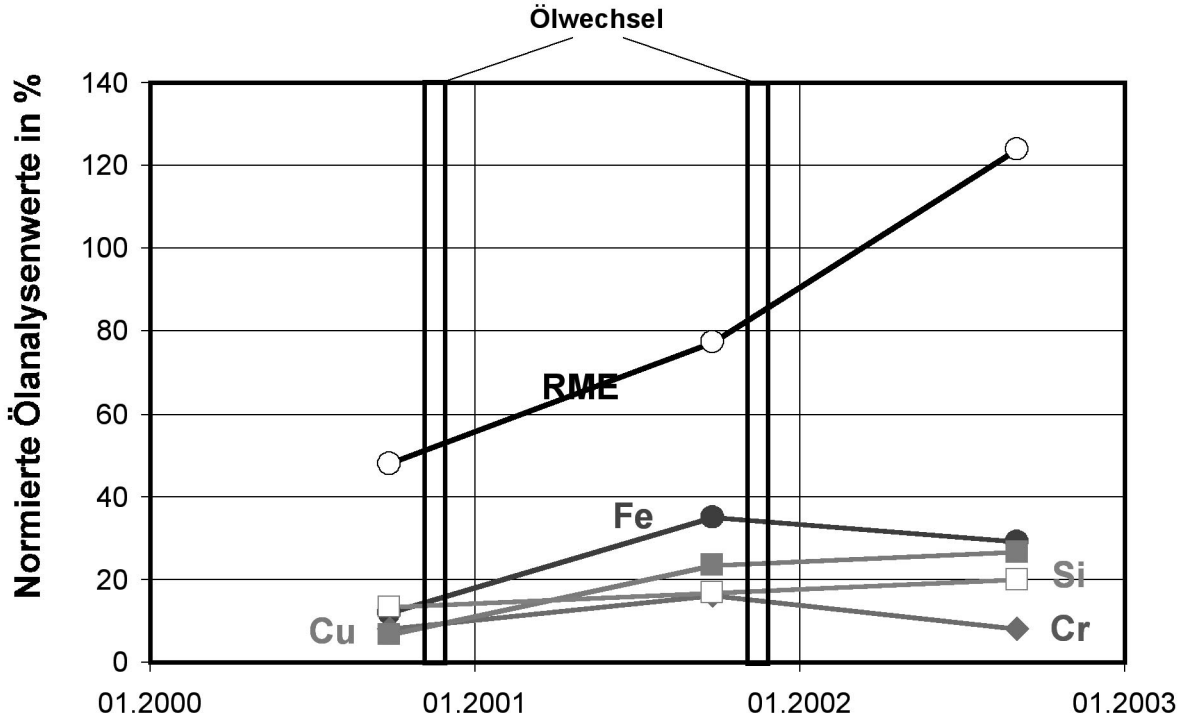

Bild 4: Ölanalyse des Bootes 00-04-S

Bild 4 zeigt einen Motor, bei dem trotz regelmäßigem Ölwechsel die Kraftstoffkonzentration im Motorenöl mit der Zeit ansteigt. Hier muss in der Saison 2003 genau beobachtet werden, ob die Werte auf einen Verschleiß der Kolbenringe hinweisen.

Bild 5 zeigt einen ähnlichen Fall von einem Boot, bei dem die Eisenkonzentration im Öl mit den Jahren deutlich zunimmt.

Bild 6 zeigt einen Motor, bei dem der Wassergehalt im Öl gegen Ende der Saison 2002 stark ansteigt. Die Rücksprache mit dem Bootsbesitzer hat ergeben, dass er bei der Probennahme ein Gefäß verwendet hat, das nicht ganz trocken war. Die Zunahme an Wasser ist also durch einen Fehler bei der Probennahme bedingt. Die erste Ölanalyse im Frühjahr 2001 zeigt übrigens die Werte vor der Umrüstung des Motors auf Biodiesel. Im Betrieb mit fossilem Diesel waren die Ölwerte nicht wesentlich anders als nach der Umrüstung auf Biodiesel.

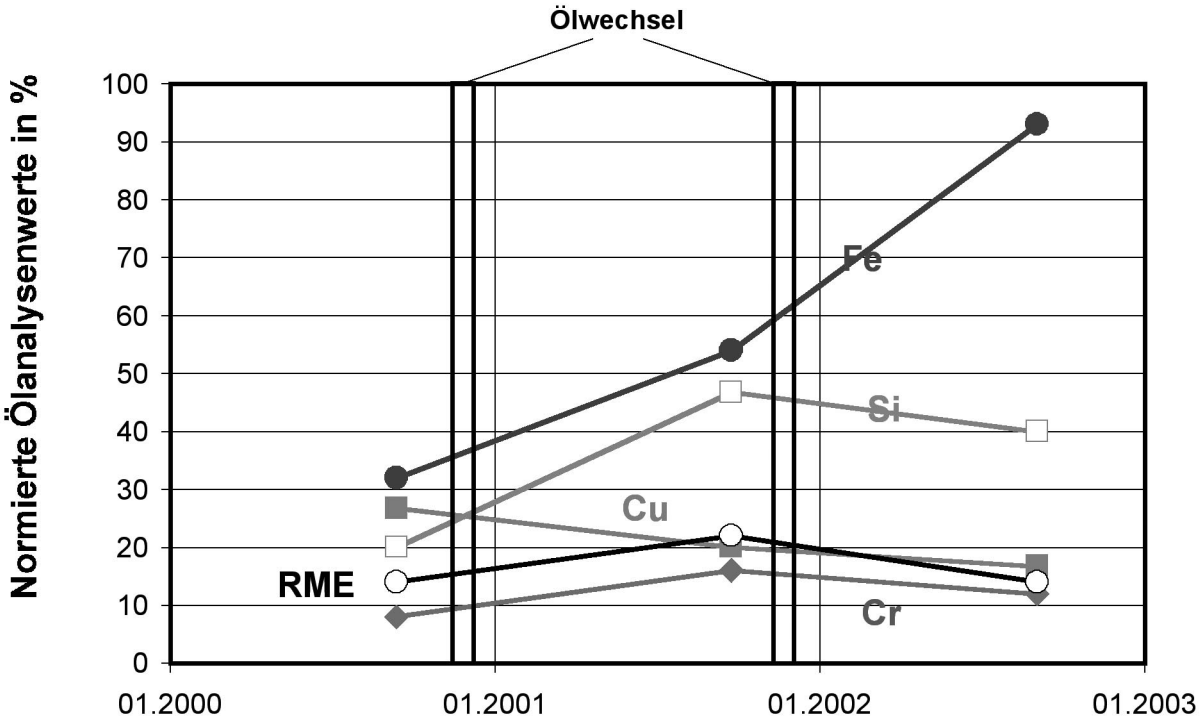

Bild 5: Ölanalyse des Bootes 00-10-S

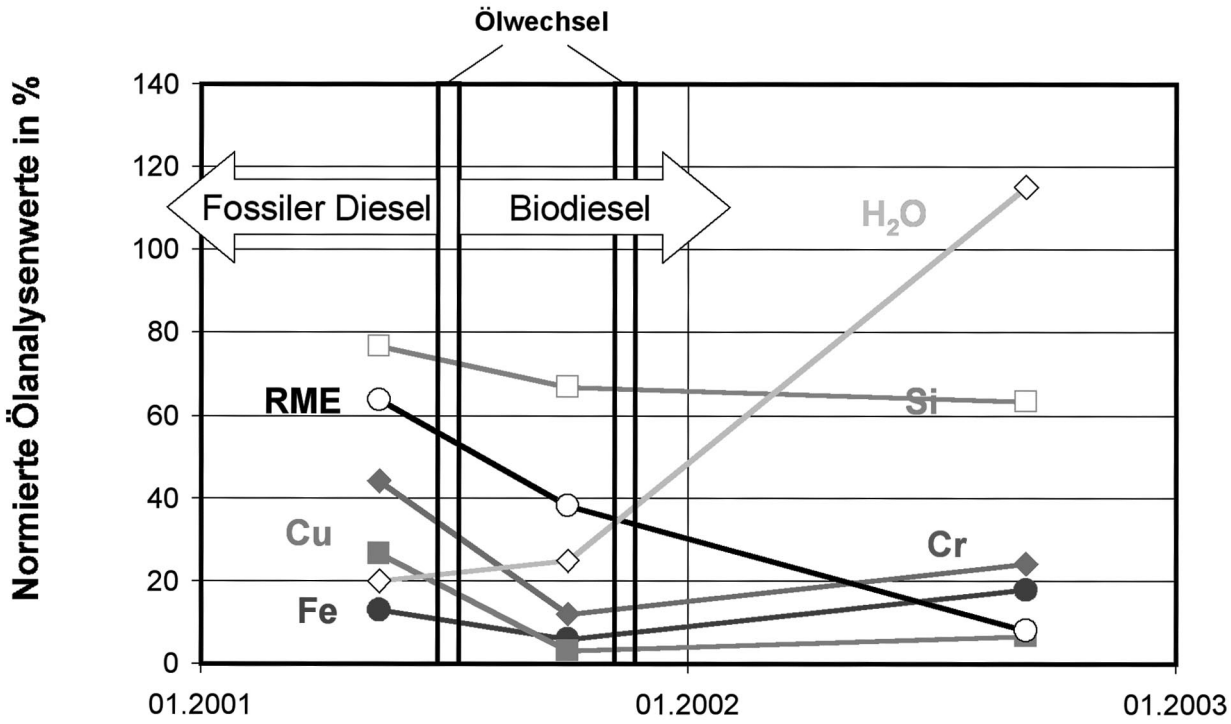

Bild 6: Ölanalyse des Bootes 01-04-S

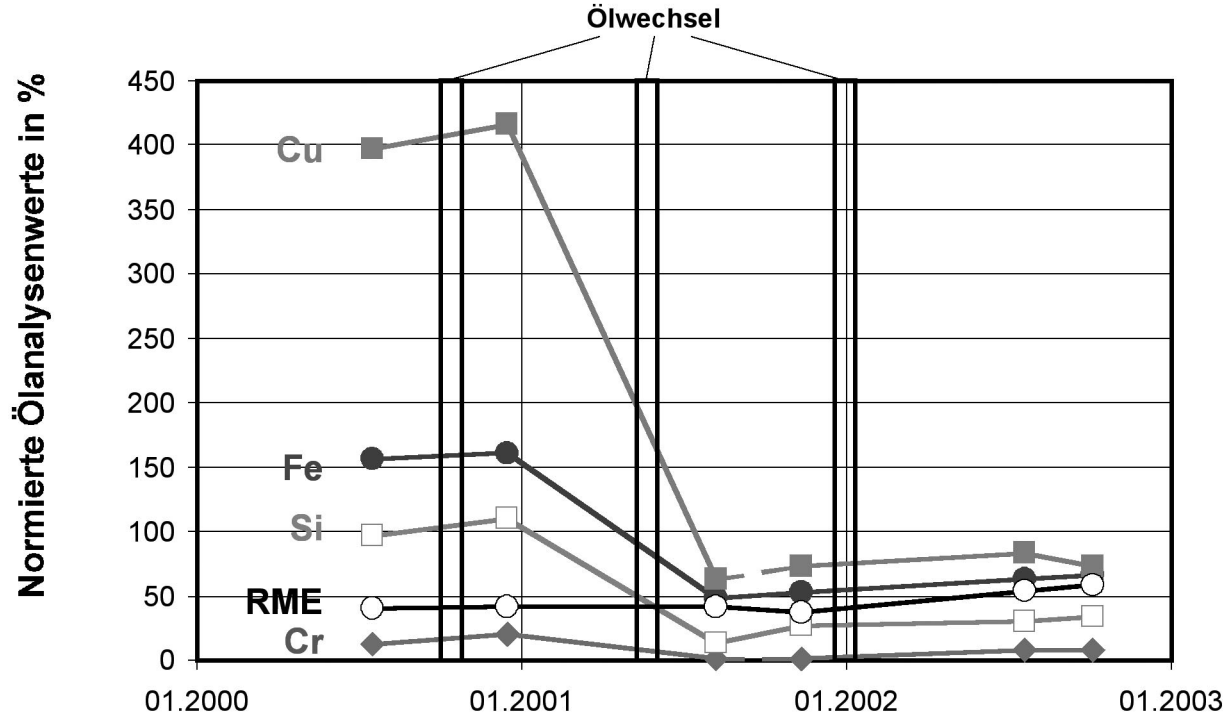

Bild 7: Ölanalyse des Bootes 00-16-M

Bild 7 zeigt einen interessanten Fall. Trotz regelmäßiger Ölwechsel war die Ölqualität längere Zeit recht schlecht. Seit dem Sommer 2001 sind die Werte deutlich besser. Dieses Boot war vor einigen Jahren in einem Sturm gekentert und untergegangen. Obwohl der Motor mehrmals mit Öl gespült worden war, sind wohl noch Schadensreste im Motor verblieben. Im Sommer 2001 wurde der Motor erneut mehrmals mit Öl gespült. Seitdem sind die Ölwerte in Ordnung.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass die Ergebnisse der Ölanalysen sehr sorgfältig und von Fall zu Fall untersucht werden müssen. Im Zweifel müssen Rücksprachen mit den Bootsbetreibern vorgenommen werden. Außer einer erhöhten Konzentration von Kraftstoff im Öl können aber keine typischen Änderungen der Ölqualität durch die Umstellung auf Biodiesel festgestellt werden.

5.7 Kraftstoffanalysen

Die Tatsache, dass RME eine geringere Lagerstabilität als fossilem Diesel nachgesagt wird, hat das Projekt-Team veranlasst, den RME in den Yachttanks sporadisch auf die für Alterung typischen Parameter untersuchen zu lassen. Bereits im ersten Jahr wurden dabei teilweise unzulässig hohe Wasserwerte festgestellt. Nach Rücksprache mit den Teilnehmern wurden defekte Tankdeckeldichtungen und unbeabsichtigter Wassereintritt beim Betanken als primäre Ursachen festgestellt. Nach Behebung dieser Mängel wurde als weitere „Wasserquelle“ teilweise schlechte RME-Qualität von einigen Tankstellen mit bis zu 800 ppm Wasser ausgemacht. Nach massivem Druck vom Projekt-Team sind ab diesem Jahr alle von den Projektteilnehmern benutzten Tankstellen der Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V. (AGQM) beigetreten, womit eine gesicherte RME-Qualität zur Verfügung steht. Als weiterer Grund für erhöhte Wasserwerte wird die hohe Luftfeuchtigkeit in der maritimen Umgebung vermutet. Durch die Tageszeit bedingten Temperaturschwankungen „atmet“ ein nur teilweise befüllter Tank mit Luftfeuchtigkeit gesättigte Luft, über die sich der hygroskopische RME mit Wasser anreichert. Dieser Verdacht wird untersucht, indem zum Ende der Saison und zu Beginn der nächsten Analysen gemacht werden. Je nach Befüllung des Tanks und der Feuchtigkeitsdifferenz zwischen den beiden Analysen können Rückschlüsse gezogen werden, wie sich das „atmen“ des Tanks auf den Wassergehalt des Inhaltes auswirkt. Ab der Saison 2003 werden in die Entlüftungsleitungen einiger Boote Trocknungsvorrichtungen mit Silikagel zwischengeschaltet. Hierfür wurden zwei verschiedene Systeme entwickelt:

Bild 8: Trocknungsvorrichtung mit einem Behälter der Fa. Mann&Hummel

Bild 8 zeigt eine Trocknungsvorrichtung, die mit Teilen der Fa. Mann&Hummel hergestellt wurde. Für die Trocknung der Druckluftanlagen von Lkw-Bremsanlagen liefert Mann&Hummel Kunststoffbehälter, die gemäß der Abbildung umgebaut wurden. Die Behälter sind in verschiedenen Größen lieferbar, haben aber zu groß dimensionierte Anschlussstutzen. Mit PVC-Schlauchstücken, in welche aus Polyamid-Stangenmaterial Adapter für das Gardena-Schlauchsystem eingepasst werden, kann der Trocknungstopf in die Entlüftungsleitung des Tanks eingefügt werden. Der Behälter wird mit Trockenperlen gefüllt, welche einen Feuchtigkeitsindikator (farblos = erschöpft, orange = regeneriert) enthalten. Die Perlen können bei einer Temperatur von maximal 150°C (Backofen) regeneriert werden. Ein Nachteil der Mann&Hummel-Teile ist ihr schwarzes Material, das den Zustand der Trocknungsperlen nicht erkennen lässt. Der Vorteil ist ihr großes Fassungsvermögen, wodurch sie sich besonders für sehr große Tankvolumina eignen. Es ist darauf zu achten, dass die Trocknungsperlen nicht mit RME (beim Tanken oder bei Schräglage) in Kontakt kommen.

Bild 9: Einfache Trocknungsvorrichtung

Bild 9 zeigt ein relativ einfaches Trocknungssystem. Ein PVC-Schlauchstück (50 mm Innendurchmesser), das an beiden Enden mit Polyamid-Scheiben verschlossen wird, in deren zentrierten Bohrungen Gardena-Kupplungsstücke mit Epoxy-Kleber eingeklebt sind, dient als Trocknungskammer. Das Schlauchvolumen wird wieder mit den oben beschriebenen Trockenperlen gefüllt. Vorsorglich werden die Scheiben im Schlauch mit Niro-Rohrschellen gesichert Mit Hilfe von Gardena-Anschlusstücken wird das Teil wieder in die Entlüftungsleitung des Tanks eingefügt. Der Vorteil dieses Systems ist das durchsichtige PVC-Material, durch das man den jeweiligen Zustand der Perlen anhand der Indikatorfärbung erkennen kann. Durch die Wahl der Schlauchlänge kann die Trocknungskapazität variiert werden. Auf der Innenseite der Polyamidscheiben muss ein luftdurchlässiges Vlies angebracht werden, damit die Trocknungsperlen nicht in die Tankleitung gelangen können. Auch hier ist darauf zu achten, dass kein RME in die Trocknungskammer gelangt. Durch das Gardena-System kann das Teil beim Betanken oder bei sehr vollem Tank schnell und einfach abgekuppelt werden. Die beiden Schlauchenden werden während dieser Zeit mit einem Kupplungsstück verbunden.

Diese Vorrichtungen werden während der Wassersport-Saison 2003 bei der Hälfte der Projekt-Boote getestet. Anhand von regelmäßigen RME-Analysen soll die Wirksamkeit ermittelt werden.

5.8 Lagerstabilität von RME in geschlossenen Kanistern

Parallel zu den Kraftstoffanalysen in den Yachttanks wurden zwei RME-Proben in geschlossenen Behältern in einer Garage gelagert. Von diesen beiden Behältern wurden monatlich Proben gezogen und analysiert. Die Ergebnisse zeigen die Bilder 10 bis 13.

Die Änderung des Wassergehaltes ist ein Maß dafür, wie sehr der hygroskopische Kraftstoff Luftfeuchtigkeit aufgenommen hat. Da die Behälter verschlossen waren, konnte der Kraftstoff nur die Feuchtigkeit aufnehmen, die zu Beginn in den Kraftstoffbehältern vorhanden oder die bei der Probennahme in die Behälter gelangte. Der von der europäischen Norm erlaubte Wert von 500 ppm (anfänglich hatten die Proben einen Wassergehalt von etwa 300 ppm.) wird auch nach zwei Jahren noch nicht erreicht.

Die Abnahme der Oxidationsstabilität ist ein Maß für den Alterungsprozess der Kraftstoffproben und erfolgt bei den Proben sehr langsam.

Die Neutralisationszahl ist ein Maß dafür, wie sauer der Kraftstoff ist. Ein großer Zahlenwert kann auf eine schlechte Produktionsqualität oder aber auch auf Alterungsprozesse hinweisen. Die Neutralisationszahl stieg in den zwei Jahren von anfänglich etwa 0,45 mg KOH/g auf knapp 0,6 mg KOH/g und ist damit nicht mehr normgemäß. (Die Norm erlaubt maximal 0,5 mg KOH/g.) Dabei muss man allerdings beachten, dass der Kraftstoff schon zu Beginn der Untersuchung eine relativ hohe Neutralisationszahl hatte.

Die Peroxidzahl als weiteres Maß für den Alterungsprozess stieg im Beobachtungszeitraum von 10 auf 30. Typisch für diese Kenngröße ist, dass sie zu Beginn des Alterungsprozesses relativ stark ansteigt und dann nahezu konstant bleibt.

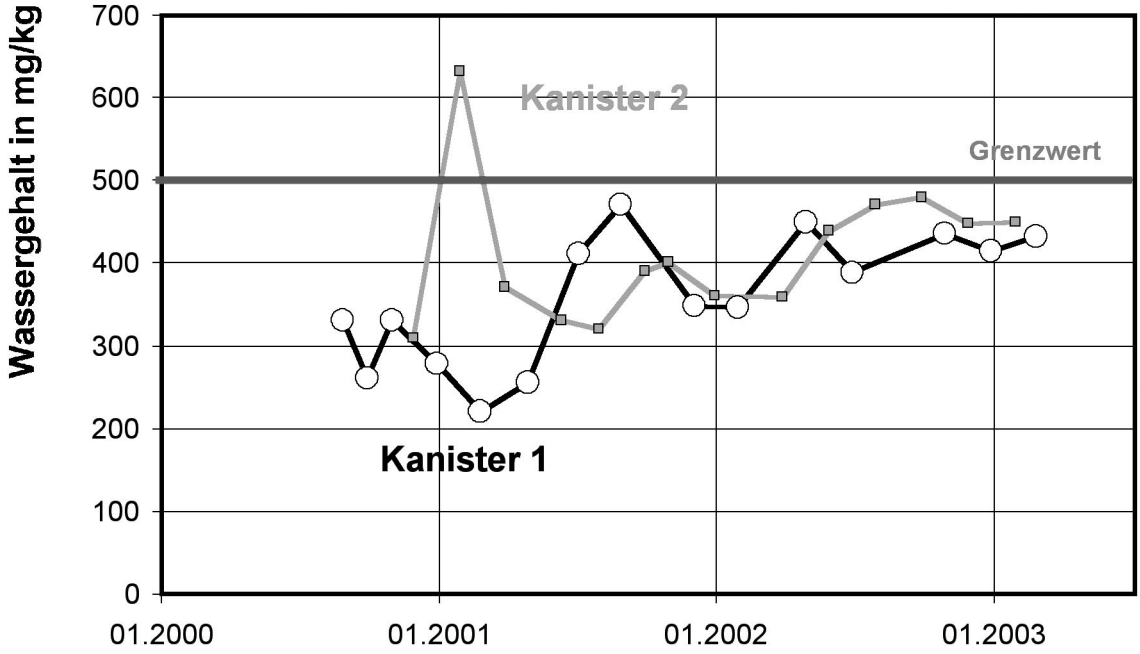

Bild 10: Wassergehalt der RME-Proben im Untersuchungszeitraum von etwa zwei Jahren

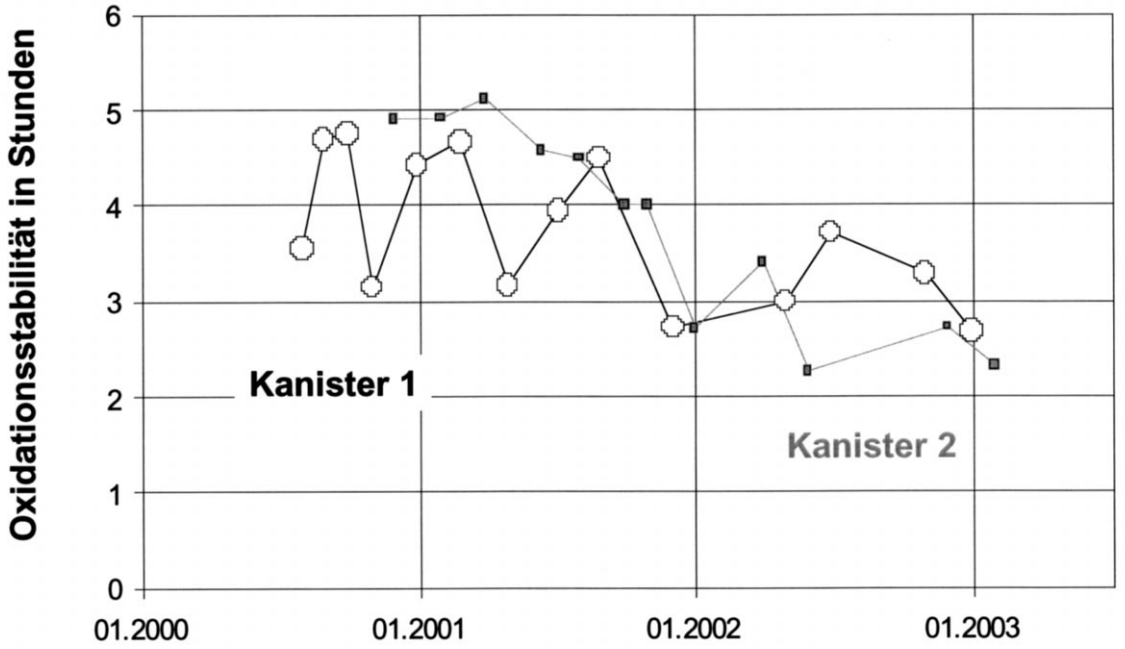

Bild 11: Oxidationsstabilität der RME-Proben im Untersuchungszeitraum von etwa zwei Jahren

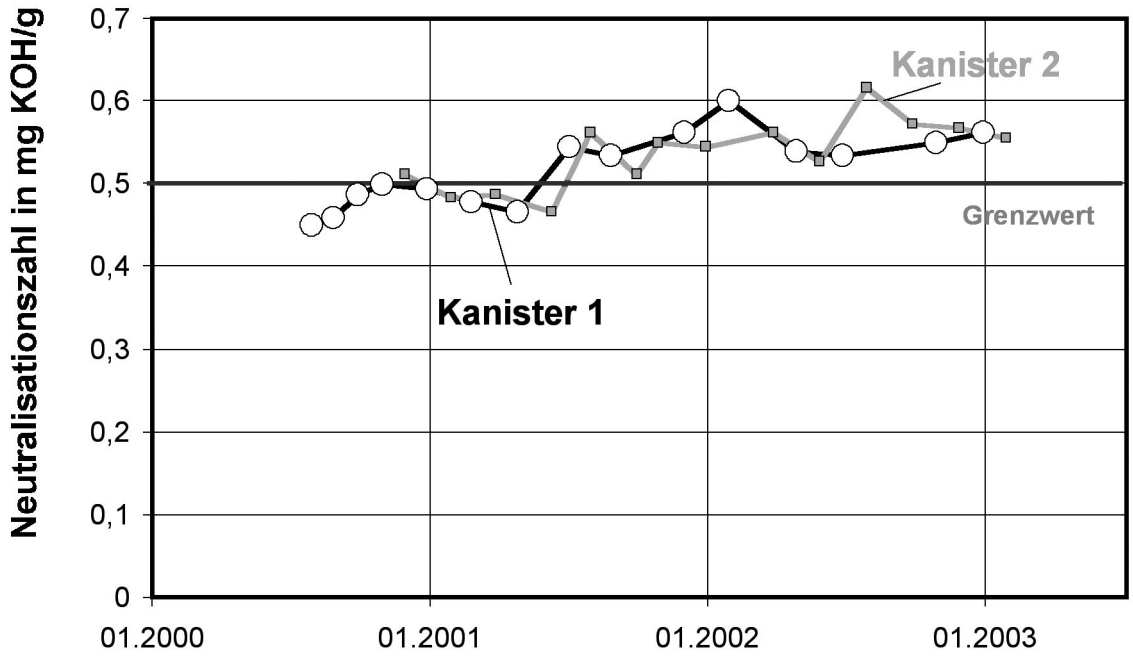

Bild 12: Neutralisationszahl der RME-Proben im Untersuchungszeitraum von etwa zwei Jahren

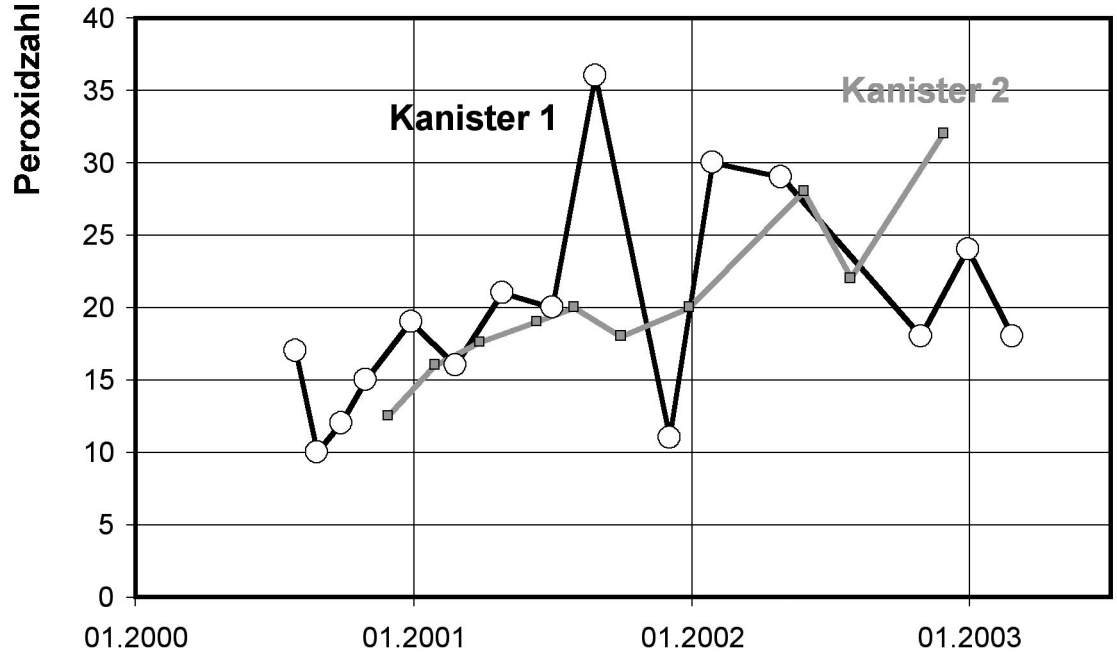

Bild 13: Peroxidzahl der RME-Proben im Untersuchungszeitraum von etwa zwei Jahren

Bei der Betrachtung der Bilder kann man sehr große Schwankungen der Analysenergebnisse erkennen. Hierfür gibt es zwei Ursachen:

Zum einen muss bei der Probenentnahme wegen der geringen zu untersuchenden Konzentrationen peinlich genau auf Sauberkeit der Entnahmegefäße geachtet werden. Insbesondere die Schwankungen bei den Wassergehalt-Werten sind wohl auf dieses Problem zurückzuführen. Zum anderen sind die Analyseverfahren selbst teilweise fehlerbehaftet. Dies trifft insbesondere auf die Bestimmung der Oxidationszahl zu.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der in geschlossenen Behältern gelagerte Biodiesel auch nach zwei Jahren noch verwendet werden kann. Allerdings muss man beachten, dass diese Lagerungsbedingung nicht für RME in Yachttanks gilt, da bei diesen durch die Entlüftungsleitung ständig Frischluft zugeführt wird. Wenn es aber gelingt, durch die geplanten Trocknungsmittel-Filter in den Entlüftungsleitungen die Zufuhr von Luftfeuchtigkeit zu minimieren, dann sollte auch der Biodiesel in Yachttanks problemlos mehr als ein Jahr lang verwendet werden können, vorausgesetzt, dass der Tank sich nicht längere Zeit in einem teilbefüllten Zustand befindet. Durch die relativ große RME-Oberfläche in einem teilbefüllten Zustand, das große Sauerstoffangebot des Leerraumes und die permanente Bewegung eines Bootes auf dem Wasser ist die Gefahr der Oxidation und danach erfolgenden Polymerisation des RME nicht zu vernachlässigen. Aus dem gleichen Grund sollte auch ein für RME verwendeter Reservekanister nicht zu lange in leerem Zustand aufbewahrt werden.

Ein anderes Phänomen muss hinsichtlich der Haltbarkeit von Biodiesel ebenfalls berücksichtigt werden: Bei vielen Diesel-Einspritzpumpen führt eine so genannte Rücklaufleitung überschüssigen Kraftstoff von der Pumpe zurück in den Tank. Dieser Kraftstoff wurde in der Einspritzpumpe erwärmt, wodurch seine Haltbarkeit ebenfalls leidet. Hinzu kommt, dass manche Rücklaufleitungen aus Kupfer (oder Buntmetallen) bestehen. Diese wirken katalytisch für einen Alterungsprozess (z.B. Polymerisation). Solche Leitungen müssen gegebenenfalls auch ausgetauscht werden.

5.9 Technische Störungen

Während der drei Jahre des Biodieselprojekts sind bei den Projektteilnehmern einige Störungen aufgetreten. Diese sind in der folgenden Tabelle 4 aufgeführt und kommentiert. Die Störungen sind insofern wichtig, als man aus jedem Fehler etwas lernen kann. Die Erkenntnisse, die im Laufe des Biodieselprojekts gewonnen wurden, sind alle in die Umrüstanleitung eingearbeitet worden.

Datum	Teilnehmer	Störung	Kommentar
07.2002 07.2002 07.2002 09.2000	01-01-S 00-01-S 00-05-S 00-12-S	Kraftstoffförderpumpe „schwitzt“: Membran wurde durch RME angelöst und musste ersetzt werden. Das Alter der Motoren war 19 bis 25 Jahre	Je nach Beschaffenheit des Membranmaterials wird es durch RME angelöst. Falls dies geschieht, sollte die Kraftstoffförderpumpe durch eine elektrische Pierburg-Pumpe ersetzt werden (vgl. Umrüstanleitung).
07.2002	00-04-S	Dichtungen in der Einspritzpumpe (25 Jahre alt) lösten sich auf.	Dichtungen wurden durch biodieselbeständige ersetzt.
07.2002	00-04-S	Der Bootstank wurde vor einigen Jahren repariert und der Deckel einer Inspektionsöffnung mit Silikon verklebt. Diese Silikonverbindung wurde durch Biodiesel angelöst.	Solche Silikon-Reparaturen müssen genauso vermieden werden wie biodieselunbeständige Schläuche und Dichtungen.
06.2001	01-06-M	Die Schweißnähte des korrodierten Stahl-Bootstanks (44 Jahre alt) wurden undicht. Starke Ablagerungen des fossilen Diesels dichteten diese ab, während RME die Ablagerungen auflöste.	Beide Tanks wurden durch Edelstahltanks ersetzt. Das Undichtwerden der Schweißnähte ist kein typisches Biodiesel-Problem, sondern wäre wohl auch mit fossilem Diesel früher oder später aufgetreten.
06.2001	00-10-S	Bei einer RME-Analyse wurde Farbstoff gefunden. (Das Farbpigment war Kongorot, ein Indikator in der analytischen Chemie, der bei den Analysen störend auffiel.)	Der Reservekanister, mit dem der Biodiesel an Bord gebracht wurde, war innen lackiert. Dieser Lack wurde von RME angelöst.

Datum	Teilnehmer	Störung	Kommentar
04.2002	00-12-S	Kavitationsschäden an der Einspritzdüse, Startprobleme, mangelhafte Kompression	Der Motor musste wegen starkem Verschleiß von Laufbuchse und Zylinderkopf überholt werden. Ursache für den Schaden war mit großer Wahrscheinlichkeit ein Wasserschaden. Es wird vermutet, dass über Jahre hinweg Motorkühlwasser (über die nasse Abgasleitung) während der Betriebspausen über das geöffnete Auslassventil in den Zylinder gelangte und dort durch Korrosion die Schäden verursacht hat. Die Ölanalysenwerte waren jahrelang außerordentlich schlecht. Die Ursache für die schlechten Werte waren aber nicht bekannt. (Das baugleiche Boot mit dem selben Motor verhielt sich dagegen vollkommen normal; siehe Code 00-10-S)
06.2000	00-06-S	Schlechte Abgaswerte	Nachdem die verschlissene Einspritzdüse ersetzt worden war, waren die Abgase wieder in Ordnung.
		Erhöhter Wassergehalt im RME	Bei einigen Teilnehmern wurde ein erhöhter Wassergehalt im RME festgestellt. Ursachen hierfür waren entweder eine schlechte Kraftstoffqualität (vgl. Abschnitt 5.7) oder defekte Tankdeckeldichtungen.

Tabelle 4: Störungen, die während des Biodieselprojekts aufgetreten sind

5.10 Rückmeldungen von den Projektteilnehmern

Ein weiterer wichtiger Punkt, der im Biodiesel-Projekt berücksichtigt wurde, sind die subjektiven Erfahrungen der Projektteilnehmer. Dazu werden am Ende jeder Saison Fragebögen mit insgesamt zwölf Fragen an die Projektteilnehmer ausgegeben und diese gebeten, die Fragen zu beantworten. Die Ergebnisse der Saison 2001 zeigt die Tabelle 5.

Die zwölf Fragen sind in der ersten Spalte in einer Kurzform dargestellt. Die Teilnehmer konnten die Fragen auf einer Skala von 1 bis 5 beantworten. In der Tabelle 5 ist der Wertebereich der gegebenen Antworten grau hinterlegt. Der Mittelwert aller Antworten ist dunkel gekennzeichnet.

Die erste und zweite Frage beschäftigt sich mit der Zufriedenheit der Projektteilnehmer. Die Antworten sind durchweg positiv. Auch die Kraftstoffversorgung (Frage 3) ist bis auf einen Fall, der aber geklärt werden konnte, zufrieden stellend gewährleistet. Die Reaktionen der Clubkollegen (Frage 4) auf das Biodieselengagement der Teilnehmer sind aber eher verhalten.

Das Kaltstartverhalten der Boote (Frage 5) hat sich bei einigen Booten verbessert und bei anderen verschlechtert. In Projektbesprechungen werden die Erfahrungen der Teilnehmer gesammelt und Ideen zur Beseitigung der Probleme (z.B. erhöhte Startdrehzahl, Service und Neueinstellung der Einspritzanlage) ausgetauscht. Laufruhe, Kraftstoffverbrauch und Motorleistung (Fragen 6, 7 und 9) haben sich nicht wesentlich geändert.

Undichtigkeiten im Kraftstoffsystem (Frage 8) sind vereinzelt aufgetreten, weil nicht alle Kraftstoffschläuche und Tankdeckeldichtungen durch RME-beständige ersetzt wurden. Bei einem sehr alten Boot (Baujahr 1959) wurden nach der Umrüstung die Schweißnähte des Tanks undicht, da der durch fossilen Diesel stammende Sumpf im Tank diese abdichtete, während das RME diesen auflöste, und der Tank musste ersetzt werden.
Das Abgasverhalten der Boote hat sich teilweise verbessert und teilweise auch verschlechtert. Allgemein sind die Projektteilnehmer sehr damit zufrieden, dass das Heck des Bootes im Vergleich zum Betrieb mit fossilem Diesel deutlich weniger verrußt und dass der Dieselgeruch im Boot wegfällt. Allerdings haben einige Boote Probleme mit Weißrauch. In einigen Fällen konnten diese durch eine Inspektion des Motors und der Einspritzanlage (neue Einspritzdüsen) beseitigt werden. In anderen Fällen wurde aber noch keine Abhilfemaßnahme gefunden. Interessant ist, dass sich Motoren gleichen Typs durchaus unterschiedlich verhalten können.

Die Zeile 11 beschäftigt sich mit der Frage, ob Biodiesel auch in der Standheizung verwendet werden kann. Lediglich zwei Projektteilnehmer haben eine Standheizung an Bord. Einer von ihnen nutzte bei seiner älteren Anlage entgegen der Empfehlung des Projekt-Teams Biodiesel, wobei in dieser Heizung Probleme auftraten, der andere nicht. Die Frage, ob die Projektteilnehmer das Projekt weiter empfehlen können (Zeile 12), wird im Allgemeinen mit ja beantwortet.

Nr.	Frage	betroffene Boote		möglicher Antwortbereich		betroffene Boote
1	Entschluss für RME:		positiv		negativ	
2	Zufrieden mit RME-Team?		ja		nein	
3	Reibungsfreie Treibstoffversorgung?		ja		nein	00-04-S
4	Reaktion der Clubkollegen:		positiv		negativ	
5	Kaltstartverhalten:	01-01-S	verbessert		verschlechtert	00-05-S 00-09-S 00-11-S
6	Laufruhe:		positiv		negativ	
7	Erhöhter Kraftstoffverbrauch?	01-04-S	ja		nein	
8	Undichtigkeiten im Kraftstoffsystem?	00-01-S	ja		nein	
9	Einfluss auf Motorleistung:		positiv		negativ	00-08-S 00-11-S 01-05-S
10	Einfluss auf Abgasverhalten:	00-02-S 00-03-S 00-06-S 01-01-S	positiv		negativ	00-09-S 01-03-S
11	RME in Standheizung:	00-11-S	positiv		negativ	00-15-S
12	Projekt weiterempfehlen?		ja		nein	

Tabelle 5: Ergebnisse der Befragung der Projektteilnehmer

5.11 Weitere Aktivitäten

Um in der Bevölkerung eine breite Akzeptanz für das Biodieselprojekt und bei den Wassersportlern die Bereitschaft für eine eventuelle Umrüstung zu erreichen, wurden verschiedene öffentlichkeitswirksame Maßnahmen durchgeführt:

- Pressekonferenz in Konstanz zum Projektstart im Juni 2000
- Umwelt-Symposium der Wassersportverbände in der Euregio Bodensee an der FH Konstanz im Februar 2001
- Präsentation des Biodiesel-Projekts auf der Interboot 2001 in Friedrichshafen
- Durchführung eines Biodiesel-Symposiums auf der Interboot 2001
- Viele kleinere Informationsveranstaltungen bei verschiedenen Wassersportvereinen
- Informationsweitergabe über die Homepage des InVo (www.invo.fh-konstanz.de/biodiesel)
- Pressemeldungen an die regionalen Zeitungen
- Kontinuierliche Berichterstattung in der IBN „Das Magazin für Wassersportler auf dem Bodensee“
- Verteilung von Informationsmaterial in vielen persönlichen Gesprächen

6 Zusammenfassung und weiteres Vorgehen

Es hat sich im Verlauf der drei Projektjahre gezeigt, dass der Betrieb von maritimen Dieselmotoren mit RME unter Beachtung der besonderen Eigenschaften des alternativen Treibstoffes grundsätzlich möglich ist. Bei Motoren neuerer Baujahre waren damit im Alltagsbetrieb bisher keine Abnormitäten zu erkennen, weil bei diesen bereits moderne Elastomere als Dicht- und Schlauchmaterialien verwendet werden. Bei Motoren älterer Baujahre ist ein eventueller prophylaktischer Austausch der Kraftstoffförderpumpe und der Dichtungen in der Einspritzpumpe empfehlenswert. Die dadurch entstehenden Kosten sind überschaubar. (Einspritzpumpe ca. 250 €, elektrische Kraftstoffförderpumpe ca. 75 €; jeweils ohne Arbeitszeit des Aus- und Einbaues. Die RME-beständigen Kraftstoffleitungen kommen je nach benötigter Länge auf 50 – 200 €.) Selbstverständlich ist es empfehlenswert, vor der Umrüstung mit dem RME-Team, dem Ingenieurbüro Liphardt oder den in diesem Bericht angegebenen Service-Stationen Kontakt aufzunehmen.

In der Umrüstanleitung sind weitere Tipps und Empfehlungen rund um den Motorenbetrieb mit RME enthalten. Werden zur Zeit die Projekt-Teilnehmer noch intensiv durch das RME-Team betreut und die Umstellungskosten gesponsert, um alle nur möglichen Erfahrungen durch Rückmeldungen zu sammeln, soll der Betrieb von Motoren im maritimen Bereich spätestens nach drei weiteren Projektjahren zum Selbstläufer werden.

Die Ergebnisse des Projektes werden von vielen Seiten mit großem Interesse verfolgt. So konnten Service-Betriebe rund um den Bodensee gewonnen werden, die der Biodiesel-Idee sehr aufgeschlossen sind. Nicht umsonst haben namhafte Motorenhersteller Patenschaften übernommen. Diese sind an den Resultaten der Versuchsflotte sehr interessiert, um eventuelle regional begrenzte Freigaben zu erteilen.

Im Wassersportzentrum Kressbronn Meichle + Mohr ist die erste Seetankstelle für RME äußerst vorteilhaft, weil dort unter den etwa 2000 Booten früher oder später eine

große Nachfrage zu erwarten ist. Dies ist jedoch nur als Anfang zu sehen, dem Tankmöglichkeiten in anderen Teilen des Bodensees folgen sollen.

Dem Problem der Hygroskopizität von RME soll begegnet werden, indem Trocknungsaggregate in die Entlüftungsleitungen der Tanks geschaltet werden. Versuche mit Orthoestern als Wasserabsorbtionsmittel ergeben eventuell die Möglichkeit, geringe Mengen im Yachttank „verwässerten" RMEs wieder verwendbar zu machen, um den Austausch zu erübrigen und Schäden an den Einspritzdüsen zu verhindern.

Das Projekt soll in nächster Zeit durch Versuchsanordnungen mit Oxidations-Katalysatoren erweitert werden, um die Abgaswerte zu verbessern und um den typischen „Frittengeruch" zu beseitigen. Dies wird besonders in Motorbooten zum Tragen kommen, da der Oxikat eine gewisse Betriebstemperatur benötigt, um wirksam zu werden. Diese ist bei Segelbooten mit ihrem intermittierenden Betrieb im Teillastbereich kaum zu erreichen.

Kein technischer Fortschritt kommt ohne das Sammeln von Erfahrungen und den Erfahrungsrückfluss aus der Praxis zustande. Deshalb soll auf der Biodiesel-Homepage des InVo ein Forum eingerichtet werden.

Während zurzeit die Beteiligung am Projekt noch etwas Pioniergeist erfordert, soll in nicht zu ferner Zukunft RME im maritimen Bereich zur umweltbewussten Selbstverständlichkeit werden.

UNION ZUR FÖRDERUNG VON ÖL- UND PROTEINPFLANZEN E.V.

7 Literaturverzeichnis

AGENDA 21: Dokumentation des Projektwettbewerbs 2001 zum Jahresthema „Wirtschaft und Verkehr" der Bodensee Agenda 21

Biodiesel-Symposium: Tagungsband zum Symposium am 24.09.2001 anlässlich der Interboot 2001 in Friedrichshafen am Bodensee. UFOP Berlin 2001

G. Dethloff, H.-H. Maack, 1998: Abschlussbericht „Demonstrationsprojekt zum Einsatz von Rapsmethylester in umweltsensiblen aquatischen Bereichen". Universität Rostock 1998

S. O. Gärtner, G. A. Reinhardt, 2002: Ökobilanz von RME im Vergleich zu Rapsöl. Vortrag auf der Tagung „Biodiesel: Potenziale, Umweltwirkungen, Praxiserfahrungen". FAL Braunschweig 2002

A. Gloxin, F. Henßler, 2000: Biodiesel und Sportschifffahrt in der Euregio Bodensee. Studienarbeit FH Konstanz 2000

J. Joachim, 2001: Auswertung der Betriebserfahrungen in der Saison 2000. Studienarbeit FH Konstanz 2001

K. Kraus, G. Niklas, M. Tappe, 1999: Aktuelle Bewertung des Einsatzes von Rapsöl/RME im Vergleich zu Dieselkraftstoff. Umweltbundesamt Berlin 1999

K. Scharmer, 2001: Biodiesel Energie- und Umweltbilanz Rapsölmethylester. UFOP Berlin 2001

S. Schelling, 2002: Auswertung der Betriebserfahrungen in der Saison 2001. Studienarbeit FH Konstanz 2002

K. Schreiner, 2002: Einsatz von Biodiesel in Sportbooten auf dem Bodensee. Vortrag auf der Tagung „Biodiesel: Potenziale, Umweltwirkungen, Praxiserfahrungen". FAL Braunschweig 2002

UFOP, 2001: Erfahrungen mit Biodiesel. UFOP Berlin 2000 und 2001

UFOP, 2003: Biodiesel „Flower Power". UFOP Berlin 2003

Internetseiten

InVo - Institut für Verbrennungsmotoren an der Fachhochschule Konstanz:
http://www.invo.fh-konstanz.de/biodiesel

UFOP - Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V.:
http://www.ufop.de

AGQM - Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V.:
http://www.agqm-biodiesel.de

Arge FUN - Arbeitsgemeinschaft Freizeit und Natur Bodensee e.V.
http://www.arge-fun.de

Österreichisches Biotreibstoff Institut:
http://www.biodiesel.at

8 Bezugsquellen

Ölanalysen:

WEARCHECK GmbH
Kerschelweg 28
D-83098 Brannenburg
Tel.: +49-8034-90470

RME-beständige Schläuche und Dichtungen:

C. Liphardt
Ingenieurbüro für Motor- und Umwelttechnik
Lochmühlenweg 4
D-61381 Friedrichsdorf
Tel.: +49-6172-778806

Trockenperlen:

Trockenperlen „CAELO“ Orange, Art. Nr. 2703
Caesar&Lorenz GmbH
Postfach 248 u. 249
D-40702 Hilden

Die kompletten Trocknungseinrichtungen können vorerst über das Projekt-Team bezogen werden.

Gardena-Teile:

Baumärkte oder Gartenbedarf

Biodiesel und Sportschifffahrt

in der Euregio Bodensee

Fahrtenbuch

Saison 2002

Name der Yacht .....

Kennzeichen .....

Motortyp .....

Ölsorte .....

Alter des Motors in Betr.std.
zu Beginn der Saison (ca.) .....

Besitzer .....

Anschrift .....
.....
.....

© **Institut für Verbrennungsmotoren (InVo) an der FH Konstanz**
Prof. Dr.-Ing. Klaus Schreiner
Tel.: 07531-206-307 • Fax: 07531-206-305 • E-Mail: schreiner@fh-konstanz.de
Wir versichern Ihnen, dass alle Daten streng vertraulich behandelt werden!

Betankungen:

Datum	Ort	Menge	Bemerkung

Notizen:

Anlage 1: Fahrtenbuch

ufop
UNION ZUR FÖRDERUNG VON ÖEL- UND PROTEINPFLANZEN E.V.

Biodiesel und Sportschifffahrt

Ein Projekt des BSVb, der Arge Fun, des IBMV und der Fachhochschule Konstanz

Muster zum Ausfüllen des Fahrtenbuches:

1.	2.	3.	4.		
lfd. Nr.	**Datum** in TT.MM.JJ	Außen-temp. in °C	**Lastbereich in %-Anteilen**		
			Leerlauf	**Teillast**	**Volllast**
1	13.04.00	13	50	30	20
2					

zu 1.: Laufende Nummerierung der Zeilen

zu 2.: Eintragung des jeweiligen Nutzungsdatums des Motors

zu 3.: Schätzwert der Außentemperatur des Tages

zu 4.: Leerlauf: Motorleerlauf und Schleichfahrt (bis etwa 1000 U/min oder 1200 U/min)

Volllast: die letzten 500 U/min bis zur max. Motordrehzahl restliche Betriebspunkte

Teillast:

Bitte Betriebszeit entweder in Stunden und Minuten (hh.mm) oder in Stunden und Zehntelstunden (Betriebsstundenzähler) in der jeweiligen Spalte angeben!

5.		6.
Betriebsdauer		Besondere Vorkommnisse
in hh:min	in hh,...	
3:25		Leckage an der Einspritzpumpe
	3,75	Inspektion des Motors

zu 4.: 50% Leerlauf, 30% Teillast, 20% Volllast

zu 5.: Zeitraum, in dem der Motor in Betrieb war (Bitte die für die jeweilige Betriebsdauererfassung richtige Spalte wählen.)

zu 6.: Eintrag eventueller Ereignisse

ufop
UNION ZUR FÖRDERUNG VON ÖEL- UND PROTEINPFLANZEN E.V.

lfd. Nr.	**Datum** in TT.MM.JJ	Außen-temp. in °C	**Lastbereich in %-Anteilen** **Leerlauf**	**Teillast**	**Volllast**	Betriebsdauer in hh:min	Betriebsdauer in hh,...	Besondere Vorkommnisse
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								

Allgemeine Beobachtungen (Kraftstoffverbrauch, Leistung)

Abgasschwärzung, Laufruhe, Motorölstand, Undichtigkeiten.....):

ufop

UNION ZUR FÖRDERUNG VON ÖEL- UND PROTEINPFLANZEN E.V.

UNION ZUR FÖRDERUNG VON ÖEL- UND PROTEINPFLANZEN E.V.

Anlage 2: Europäische Norm EN 14214 für Biodiesel (bisher: E DIN 51606)

Kraftstoffeigenschaft	Einheit	Grenzwert minimal	Grenzwert maximal
Ester-Gehalt	%	96,5	
Dichte bei 15°C	kg/m3	860	900
Kin. Viskosität bei 40°C	mm2/s	3,5	5,0
Flammpunkt	°C	101	
Schwefelgehalt	mg/kg		10
Koksrückstand	%		0,30
Zündwilligkeit (Cetanzahl)		51	
Aschegehalt	%		0,02
Wassergehalt	mg/kg		500
Gesamtverschmutzung	mg/kg		24
Oxidationsstabilität bei 110°C	h	6,0	
Neutralisationszahl	mg KOH / g		0,5
Iodzahl			120
Gehalt an Linolensäure-Methylester	%		12
Gehalt an Fettsäure-Methylester	%		1
Methanolgehalt (Massenanteil)	%		0,2
Monoglyzerid-Gehalt	%		0,8
Diglyzerid-Gehalt	%		0,2
Triglyzerid-Gehalt	%		0,2
Gehalt an freiem Glyzerin	%		0,02
Gehalt an Gesamtglyzerin	%		0,25
Phosphorgehalt	mg/kg		10
Grenzwerte der Filtrierbarkeit (CFPP)	°C		
15.04.-30.09.			0
01.10.-15.11.			-10
16.11.-28.02.			-20
01.03.-14.04.			-10

ufop
UNION ZUR FÖRDERUNG VON OEL- UND PROTEINPFLANZEN E.V.

Anlage 3: Musterölanalyse

Laborbericht

FN 35700 MOTORBOOT

Probenbezeichnung

WEAR CHECK®
SCHMIERSTOFF-ANALYSEN
Kerschelweg 28 · 83098 Brannenburg
Tel. 0 80 34-9 04 70 · Fax 0 80 34-90 47 47
E-Mail: info@wearcheck.de
Internet: www.wearcheck.de

WEARCHECK GmbH · Postfach 1116 · 83094 Brannenburg

Hans Plaettner-Hochwarth
Vorst. Yachtclub Fließhorn eV
Allmendstraße 17

D-77971 Kippenheim

Normal ✓ Hinweis ? Achtung !

Verschleißmetalle seit der letzten Probe nahezu unverändert. Falls noch kein Ölwechsel erfolgt ist, wäre eine weitere Verwendung des Öles bei ähnlichen Betriebsbedingungen unter Beibehaltung üblicher Wartungsarbeiten möglich. Ich rate Ihnen: Senden Sie uns die nächste Probe bei Ihrer üblichen Inspektion zur Beobachtung des Trendverhaltens.
Dipl.-Ing. Rüdiger Krethe

Maschinentyp **AD 31 B**
Hersteller **Volvo Penta**
Probe aus **Dieselmotor** Ölvolumen **9**
Ölbezeichnung **Volvo 15W-40 CG Öl ?**
Proj.Biodiesel Code 00/16/M

Laborwerte: aktuelle Probe / Laborwerte: frühere Untersuchungen

WC-Nummer			**167623**	117325	115972	97727	97744
Untersuchungsdatum			**14.10.2002**	02.08.2002	22.11.2001	21.08.2001	02.01.2001
Probeentnahmedatum			**08.10.2002**	24.07.2002	15.11.2001	10.08.2001	18.12.2000
Bh/km insgesamt			**-**	-	70	950	-
Bh/km seit dem Ölwechsel			**-**	-	-	44	89
VERSCHLEISS							
Eisen	Fe	mg/kg	**66**	63	53	48	161
Chrom	Cr	mg/kg	**2**	2	0	0	5
Zinn	Sn	mg/kg	**0**	0	1	3	6
Aluminium	Al	mg/kg	**6**	6	5	2	21
Nickel	Ni	mg/kg	**2**	2	1	1	4
Kupfer	Cu	mg/kg	**22**	25	22	19	125
Blei	Pb	mg/kg	**13**	13	11	5	53
Molybdän	Mo	mg/kg	**6**	5	2	0	11
PQ-Index		-	**27**	ok	32	ok	ok
VERUNREINIGUNG							
Silizium, Staub	Si	mg/kg	**10**	9	8	4	33
Kalium	K	mg/kg	**7**	6	4	2	4
Natrium	Na	mg/kg	**10**	6	6	6	13
Wasser			**<0.1%**	<0.1%	<0.1%	<0.1%	0.13 %
Glykol		-	**negativ**	negativ	negativ	negativ	negativ
Kraftstoff		%	**2.88**	2.69	1.87	2.1	2.1
Ruß		%	**0.34**	0.19	0.38	0.01	0.67
ÖLZUSTAND							
Viskosität 40°C		mm²/s	**75.95**	77.94	80.12	82.65	91.97
Viskosität 100°C		mm²/s	**12.47**	12.68	12.77	12.97	12.8
Viskositätsindex		-	**163**	162	159	157	136
Oxidation		A/cm	**22**	21	28	14	19
Nitration		A/cm	**13**	13	10	10	16
Sulfation		A/cm	**12**	11	4	9	11
Schmutztragevermögen		%	**100**	100	100	100	100
ADDITIVE							
Kalzium	Ca	mg/kg	**3019**	3530	3235	3489	4185
Magnesium	Mg	mg/kg	**186**	213	226	231	43
Bor	B	mg/kg	**252**	315	358	367	1
Zink	Zn	mg/kg	**1274**	1300	1505	1470	1416
Phosphor	P	mg/kg	**1142**	1057	1583	1446	1048
Barium	Ba	mg/kg	**0**	0	0	0	7

UNION ZUR FÖRDERUNG VON OEL- UND PROTEINPFLANZEN E.V.

4 Anschriften der Autoren

Hans Plaettner-Hochwarth, Arge FUN
Allmendstraße 17
77971 Kippenheim

Prof. Dr.-Ing. Klaus Schreiner, Fachhochschule Konstanz
Brauneggerstraße 55
78462 Konstanz

UNION ZUR FÖRDERUNG VON OEL- UND PROTEINPFLANZEN E.V.

Reinhardtstraße 18 • 10117 Berlin • www.ufop.de