

# Biodiesel und Sportschifffahrt in der Euregio Bodensee

*Projektbericht*



# **Biodiesel und Sportschifffahrt in der Euregio Bodensee**

Hans Plaettner-Hochwarth, Bodensee-Segler-Verband (BSVb) und  
Internationale Wassersportgemeinschaft Bodensee (IWGB)

Prof. Dr.-Ing. Klaus Schreiner, Hochschule Konstanz (HTWG)

## 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 damaligen 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 in 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. Aus heutiger Sicht war man im Jahr 2000 der Zeit weit voraus, denn heute hat die Einsparung des Treibhausgases Kohlendioxid höchste Priorität. Nachhaltige Biokraftstoffe sind gefragter denn je.

Mit der finanziellen Unterstützung durch die Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP) und durch viele Wissenschaftler ideell unterstützt konnte das Projekt „Biodiesel und Sportschiffahrt 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.

Nach drei Projektjahren wurde das Biodiesel-Projekt um drei weitere Jahre verlängert, um die im ersten Abschlussbericht gefundenen Aussagen durch längere Beobachtungen und mehr Betriebszeiten absichern zu können.

Der vorliegende Abschlussbericht fasst die Ergebnisse der sechs Projektjahre zusammen. Die bereits nach den ersten drei Projektjahren erstellte Umrüstanleitung liegt in einer aktualisierten Version vor. Mit ihrer Hilfe können Interessenten die Umrüstung ihres Bootes auf den Betrieb mit Biodiesel problemlos durchführen. Gleichzeitig bietet sie Service-Stationen das nötige Know-how, um zuverlässig den Wünschen ihrer Kunden gerecht werden zu können.

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 (jetzt Ölmühle Hamburg)
- den 26 Projektteilnehmern, die ihre Boote und ihre Motoren für dieses Projekt zur Verfügung gestellt haben
- den Motorenherstellern für ihre Unterstützung, speziell
  - Herrn Bernd Reinitz, ehemals VOLVO PENTA Central Europe GmbH
  - Herrn Hans-Jörg Bucksath, ehemals Friedrich MARX GmbH&Co, Yanmar-Importeur
  - Herrn Udo Becker, BETA MARINE Schiffsdieselmotoren
  - Herrn Thomas Holzhüter, ehemals Farymann Diesel
  - Herrn Udo Sander und Herrn Thomas Bader, ehemals Volkswagen AG
  - Herrn Josef Schießl, ehemals 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 Bremerhafen AG (MWB)
  - Herrn Karl-Heinz Scharf, Saarberg Bioenergie
  - Herrn Günther, GÜNTHER ENERGIE & SERVICE, Lahr
- den Experten am Bodensee für die vielfältige Unterstützung, speziell
  - den Präsidenten des BSVb
  - Herrn Dr. Hans-Luzius Studer, ehemaliger Präsident des BSVb und **derzeitiger** Präsident der IWGB

- Herrn Hans-Joachim Kurz, ehemaliger 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, ULTRAMARIN Die Meichle + Mohr Marina
- Herrn Dieter Haertl, Geschäftsführer des BSVb
- Herrn Andreas Ellegast, Bodensee-Schiffahrtsamt, für die wohlwollende Unterstützung im Rahmen der BSO

Hans Plaettner-Hochwarth

ehemals Arbeitsgemeinschaft Freizeit und Natur Bodensee (Arge FUN), derzeit Bodensee Segler-Verband (BSVb) und Internationale Wassersportgemeinschaft Bodensee (IWGB) – GfA Ressort Umwelt

Prof. Dr.-Ing. Klaus Schreiner

Hochschule Konstanz (HTWG)

Labor für Verbrennungsmotoren

# Inhaltsverzeichnis

<u>1</u>	<u>Einleitung</u> .....	8
<u>2</u>	<u>Biodiesel und Sportboote</u> .....	8
<u>3</u>	<u>Ausgangslage</u> .....	9
<u>4</u>	<u>Projekt „Biodiesel und Sportschifffahrt in der Euregio Bodensee“</u> .....	10
<u>4.1</u>	<u>Projektteam</u> .....	10
<u>4.2</u>	<u>Projektteilnehmer</u> .....	10
<u>4.3</u>	<u>Sponsoren</u> .....	11
<u>4.4</u>	<u>Projektziele</u> .....	12
<u>5</u>	<u>Erfahrungen und Ergebnisse</u> .....	13
<u>5.1</u>	<u>Kontakt zu den Motorenherstellern</u> .....	13
<u>5.2</u>	<u>Projektteilnehmer</u> .....	13
<u>5.3</u>	<u>Kraftstoffversorgung</u> .....	14
<u>5.4</u>	<u>Umrüstung der Boote</u> .....	14
<u>5.5</u>	<u>Fahrtenbücher</u> .....	15
<u>5.6</u>	<u>Ölanalysen</u> .....	16
<u>5.7</u>	<u>Kraftstoffanalysen</u> .....	23
<u>5.8</u>	<u>Lagerstabilität von RME in geschlossenen Kanistern</u> .....	26
<u>5.9</u>	<u>Typische Störungen</u> .....	30
<u>5.10</u>	<u>Rückmeldungen von den Projektteilnehmern</u> .....	34
<u>5.11</u>	<u>Weitere während des Projekts durchgeführte Aktivitäten</u> .....	37
<u>6</u>	<u>Zusammenfassung und weiteres Vorgehen</u> .....	38
<u>7</u>	<u>Literaturverzeichnis</u> .....	39
<u>8</u>	<u>Bezugsquellen</u> .....	41
	<u>Anlage 1: Fahrtenbuch</u> .....	42
	<u>Anlage 2: Europäische Norm EN 14214 für Biodiesel</u> .....	45
	<u>Anlage 3: Musterölanalyse</u> .....	46

## **Kurzfassung**

Nach sechs Jahren Projekt „Biodiesel und Sportschiffahrt in der Euregio Bodensee“ kann das Projekt-Team eine durchaus positive Zwischenbilanz ziehen. Die Boote der 26 Teilnehmer wurden insgesamt 4271 Stunden mit RME betrieben. Dabei sind nur an einigen Motoren RME-bedingte Störungen aufgetreten, welche in diesem Bericht dokumentiert sind und die mit geringen Mitteln behoben werden konnten. Im Verlauf dieser sechs 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.

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 auch heute noch unterhaltenen Kanisterdepots nur schlecht praktikabel ist. Viele der am Projekt beteiligten RME-Tankstellen haben sich der AGQM angeschlossen, wodurch eine Versorgung mit einwandfreier RME-Qualität nach EN 14214 gewährleistet ist.

Der Einsatz von RME im maritimen Bereich kann unter Berücksichtigung der oben angeführten Punkte empfohlen werden. Die umfangreichen Erfahrungen, die im Laufe der sechs Projektjahre gesammelt wurden, sowie das Handbuch zur Umrüstung von Sportbooten für den Betrieb mit Biodiesel gewährleisten einen sicheren Betrieb mit dem umweltfreundlichen Kraftstoff RME auch nach Ablauf des Projektes.

## **Abstract**

After six years of work on the project "Biodiesel und Sportschiffahrt in der Euregio Bodensee" (Bio Diesel Fuel and Sports Boating in the Lake Constance Region), the project team can look back on a very positive experience. The boats of 26 participants were operated for a total of 4,271 hrs with Rape Methyl Ester (RME). During this period, only some engines had RME-related problems. These problems, which are documented in this report, were corrected with minimal effort. Over the course of six years, extensive information was gathered in a first-time fleet trial with recreational boats. This information was recorded in a handbook for the conversion of such boats to operate with bio diesel fuel.

Basically, diesel engines in small marine crafts can be operated with bio diesel without problems, if some RME-specific characteristics are considered. It is, however, necessary to take into account the fact that RME is hygroscopic, has a high flash point, and solvent-like behavior with regard to older elastomeres and paints. The latter characteristic can lead to leaks, particularly in older engines. When operated in the partial-load range – as is customary with sail boats – RME may be found in the engine oil. However, considering operating times of 60 to 90 hours per season, this is harmless because the engine manufacturer specifies an oil change before the winter haul-out anyway. The hygroscopic characteristic of RME has led to critical water concentrations of more than 1000 ppm, especially in sail boats with large tanks. A full tank during the off-season and drying cartridges in the vent line improve matters.

The fuel supply for RME on Lake Constance should be expanded because refueling motor boats with a larger consumption from the canister depots, which were provided at the beginning of the project, is very impractical. Many of the participating fuel stations have now joined the AGQM, which ensures that the supply of RME has the proper quality that complies with EN 14214.

The use of RME for marine purposes can 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 extensive experience which was gathered during the six years the project ran, as well as the handbook for switching recreational boats' fuel to using bio diesel, ensure a safe operation with the environmentally friendly fuel RME for future generations.



# 1 Einleitung

Die Verwendung von reinem Biodiesel (Rapsmethylester, RME) in Dieselmotoren ist allgemein anerkannt und Stand der Technik (UFOP 2001). Einschränkungen gibt es bei Motoren mit Rußfilter und teilweise bei Motoren mit allerneuester Piezoeinspritztechnik.

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<sub>2</sub>-neutral.
- Die Ökobilanz von Biodiesel (GÄRTNER et al. 2002, ifeu 2003) 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. ( ifeu 2003)
- Seine Schadstoffemissionen sind genauso gut oder besser (Ruß, Kohlenmonoxid CO, unverbrannte Kohlenwasserstoffe HC) als die von Dieselkraftstoff bzw. nur geringfügig schlechter (Stickoxide NO<sub>x</sub>).

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, besonders die seiner Ungiftigkeit, 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 Sportschiffahrt 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 Öl- und Proteinpflanzen e.V. wurde 2000 das Projekt „Biodiesel und Sportschiffahrt in der Euregio Bodensee“ gestartet. Die wissenschaftliche Betreuung des Vorhabens wurde durch Professor Dr.-Ing. Klaus Schreiner vom Labor für Verbrennungsmotoren an der Hochschule Konstanz

(HTWG) 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 des Bodensee-Segler-Verbandes (BSVb) und der Internationalen Wassersportgemeinschaft Bodensee (IWGB) sowie Vizepräsident der mittlerweile in die IWGB integrierten Arbeitsgemeinschaft Freizeit und Natur Bodensee e.V. (ArgeFun)
- Prof. Dr.-Ing. Klaus Schreiner, Leiter des Labors für Verbrennungsmotoren an der Hochschule Konstanz (HWTG)
- Dr. Hans-Luzius Studer, Präsident der Internationalen Wassersportgemeinschaft Bodensee e.V. (IWGB)
- Hans-Dieter Möhlhenrich, Chefredakteur der „IBN – Das Magazin für Wassersport am Bodensee“
- Dieter Haertl, Geschäftsführer des Bodensee-Segler-Verbandes (BSVb)

Ideell wird **bzw. wurde** 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 26 Teilnehmer. Die folgende Table 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.

<b>Codenummer</b>	<b>Motortyp</b>	<b>Motorleistung</b>	<b>Zylinderzahl</b>	<b>Baujahr</b>
00-01-S	Volvo Penta 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 2GM20FG-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	1990
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
03-01-S	Mitsubishi Vetus	8 kW	1	1988
04-02-M	Volvo Penta AQ AD 32 (2 Motoren)	70 kW	6	1977

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 Booten
- 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 gaben beispielsweise Volkswagen und Audi ihre Pkw-Dieselmotoren schon 1996 generell für den Betrieb mit Biodiesel frei. (Seit 2004 werden die Motoren wegen der strengeren Abgasgrenzwerte allerdings nur noch bei Zukauf eines RME-Paketes - Kraftstoffsensoren und geänderte Motorkennfelder - für den Betrieb mit Biodiesel freigegeben. Die Modelle mit Rußfilter können bislang konstruktionsbedingt noch nicht mit RME betrieben werden.) 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 wurde das Biodiesel-Projekt von vielen Motorherstellern aufmerksam beobachtet. Einige Hersteller, zum Beispiel Volvo Penta und MARX, der Importeur von Yanmar Motoren, unterstützten das Projekt, indem sie so genannte Patenschaften übernommen haben. Durch diese Patenschaften sollten Schäden, die auf den Betrieb mit RME zurückzuführen sind, auf dem Wege der Kulanz schnell und unbürokratisch behoben werden. Erfreulicherweise mussten diese Patenschaften nie in Anspruch genommen 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 im Laufe des Projektes auf insgesamt 26 erhöht werden. Aus den oben beschriebenen Gründen der Treibstoffversorgung sind nur vier 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 das 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 „ULTRAMARIN Die Meichle + Mohr Marina, Kressbronn“ davon zu überzeugen, Biodiesel in sein Programm aufzunehmen. Besonders an diesem Ort ist die Seetankstelle für RME von großer Bedeutung, da hier über 2500 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, was dann zu den Problemen führte, auf die im Abschnitt 5.7 eingegangen wird. Mittlerweile haben erfreulicherweise die meisten Tankstellen auf AGQM-Ware umgestellt.

### **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 aus den Jahren 2000 bis 2005 bekannt:

Betriebsstunden mit Biodiesel auf dem Bodensee	4271 h
Mittlere Zahl von Betriebsstunden pro Boot und Jahr	42 h
Max. Zahl von Betriebsstunden eines Bootes in den sechs Jahren	853 h

Typisches Lastprofil	Leerlauf	13 %
	Teillast	71 %
	Volllast	16 %

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

Das Bild 1 zeigt grafisch das mittlere Lastprofil aller Teilnehmer.



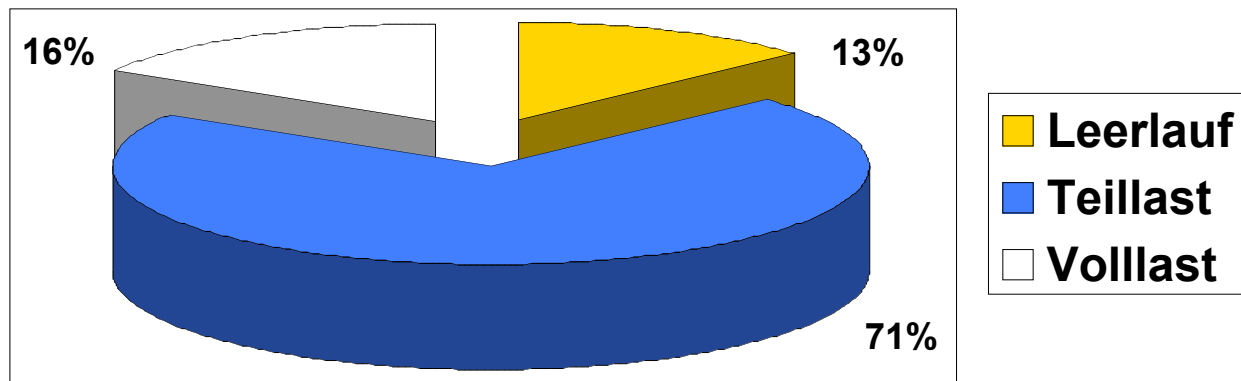


Bild 1: Über alle Projektteilnehmer gemittelt Lastprofil

## 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 31 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:

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

Tabelle 3: Auffällige Parameter der Ölanalysen und ihre 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. Boots-

besitzer 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 2 zeigt die Ergebnisse eines Bootes, bei dem während der gesamten Projektlaufzeit alle Ölanalysen immer in Ordnung waren. Dargestellt sind aus Gründen der besseren Übersicht nur einige der Analysegrößen.

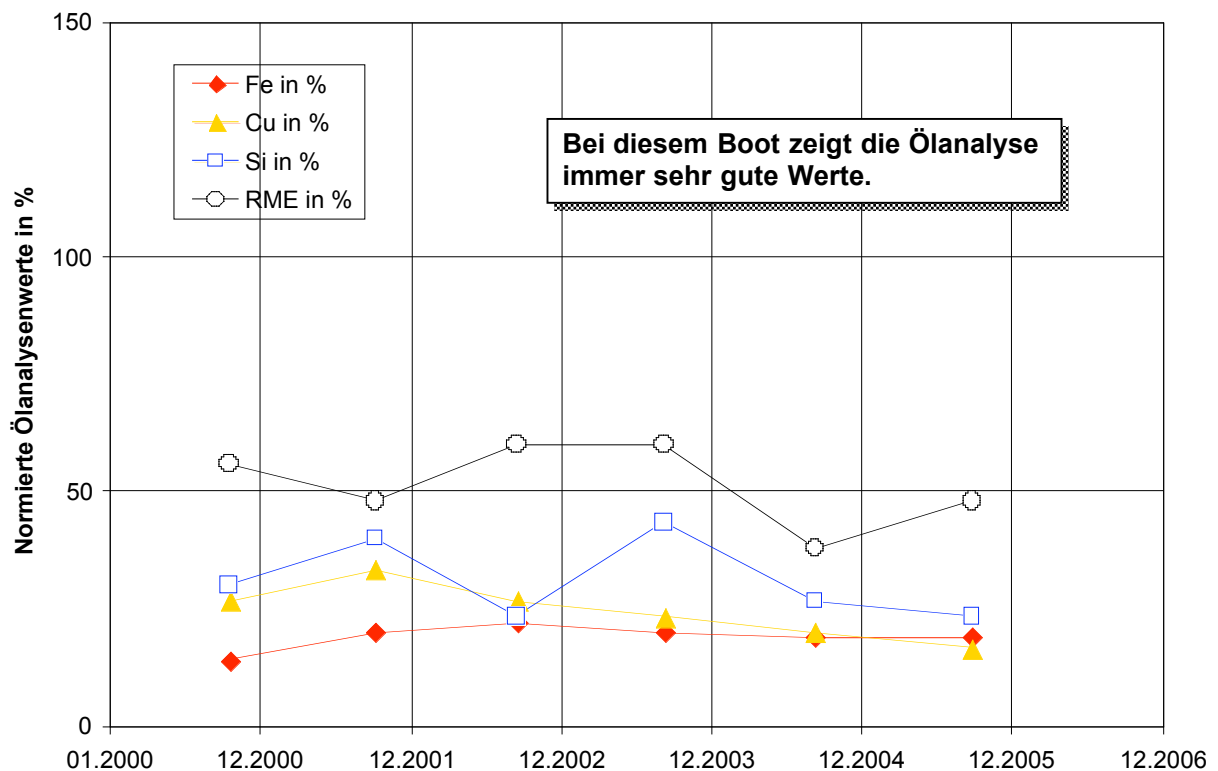


Bild 2: Ölanalyse des Bootes 00-01-S

Bild 3 zeigt die Analysenwerte eines Bootes, bei dem entgegen den Betriebsvorschriften längere Zeit kein Ölwechsel stattfand. Man kann gut erkennen, wie die Werte in den ersten zwei Projektjahren ansteigen. Nach dem Ölwechsel im Jahr 2002 sind die Ergebnisse deutlich besser. Auch die anfangs relativ hohen Siliziumwerte werden im Laufe der Zeit besser. Der deutliche Anstieg des RME-

Anteils im Öl im Jahr 2006 muss dagegen in der Saison 2007 genauer beobachtet werden.

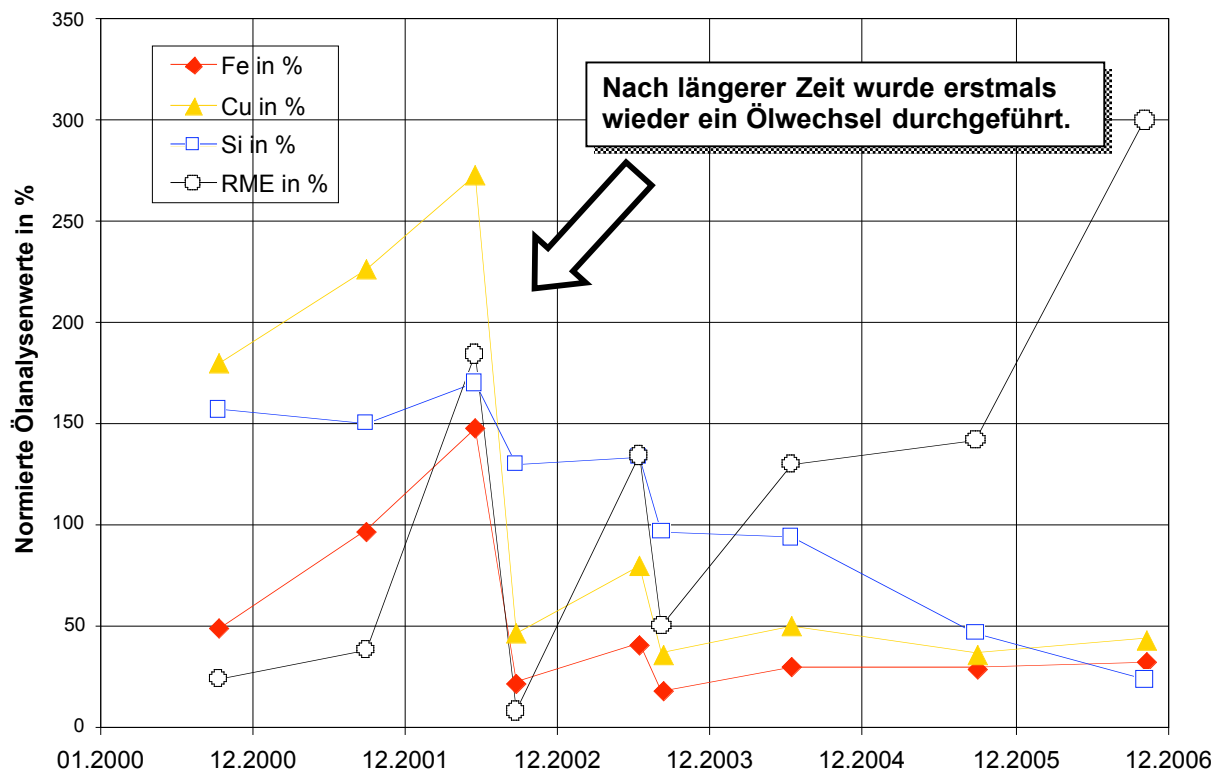


Bild 3: Ölanalyse des Bootes 00-07-S

Die Bilder 4 und 5 zeigen zwei Motoren, bei denen die Verschlechterung der Ölqualität durch einen Wechsel der Einspritzdüse behoben werden konnte. Der Grund für den Düsentausch lag aber nicht in den Ölwerten, sondern im motorischen Verhalten. Das eine Boot zeigte einen schlechten Kaltstart, das andere Rußbildung beim Beschleunigen.

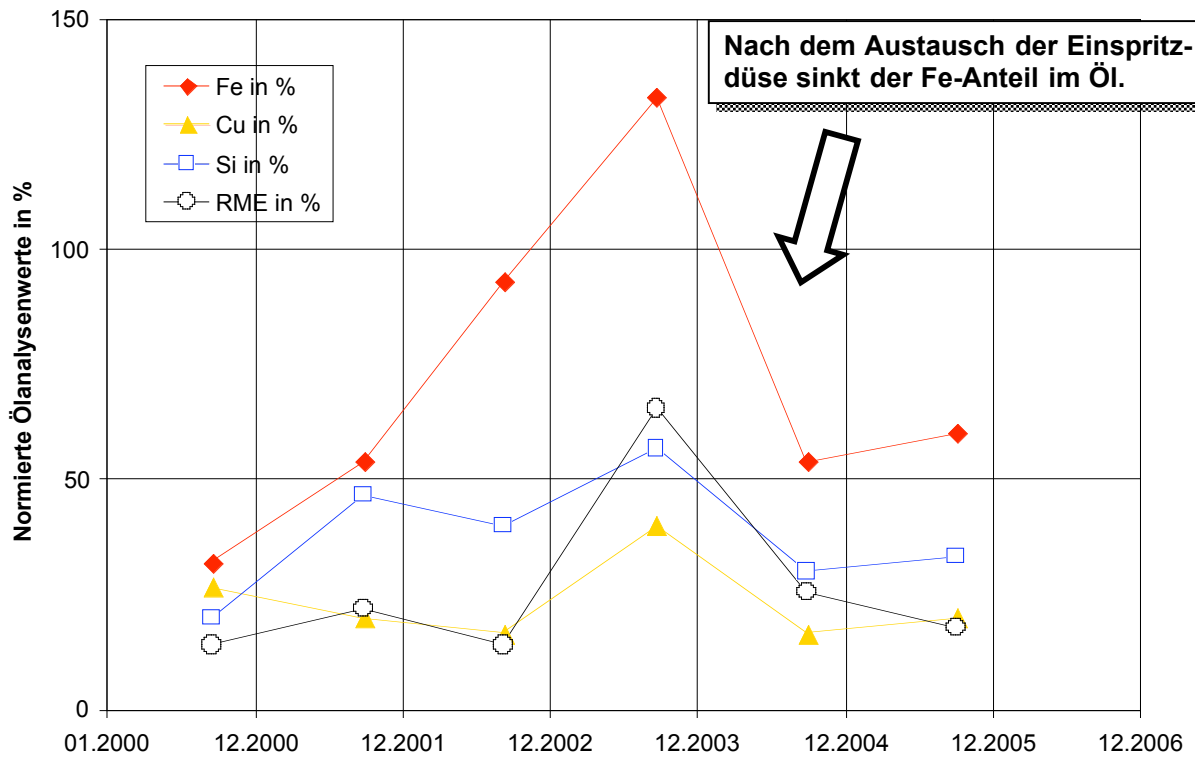


Bild 4: Ölanalyse des Bootes 00-10-S

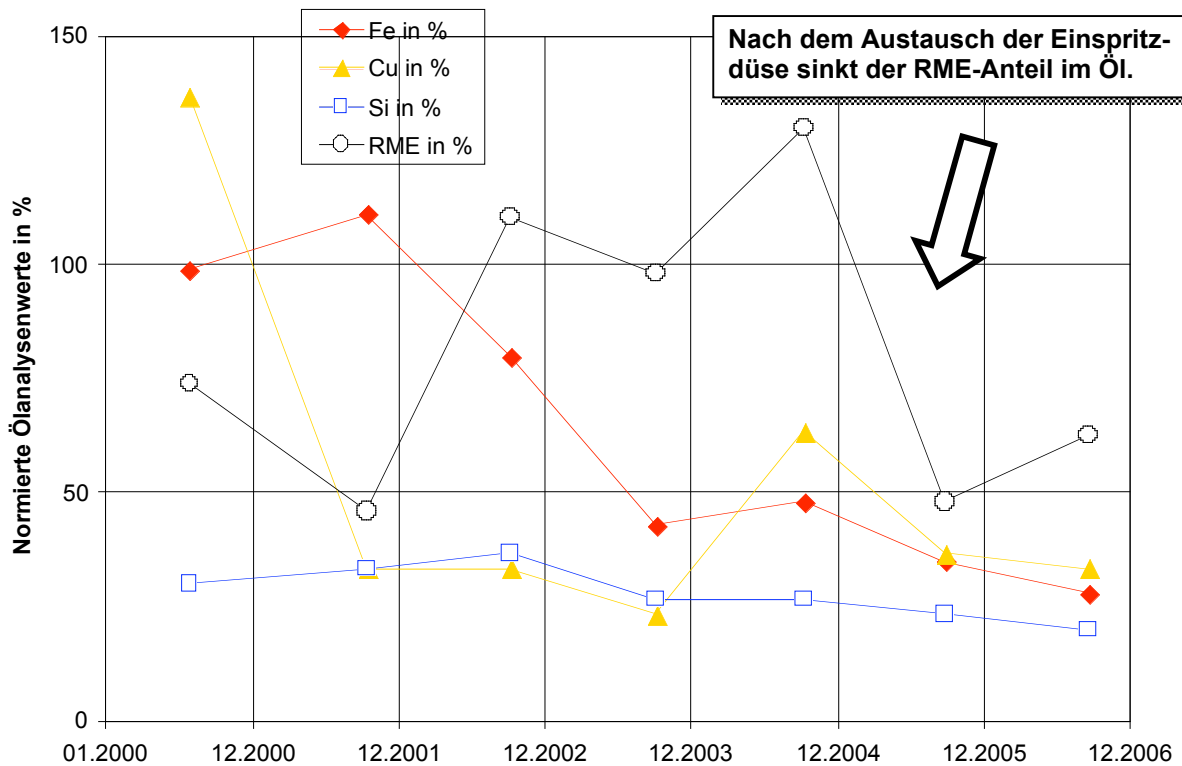


Bild 5: Ölanalyse des Bootes 00-13-S

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 Probenentnahme ein Gefäß verwendet hat, das nicht ganz trocken war. Die Zunahme an Wasser ist also durch einen Fehler bei der Probenentnahme 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.

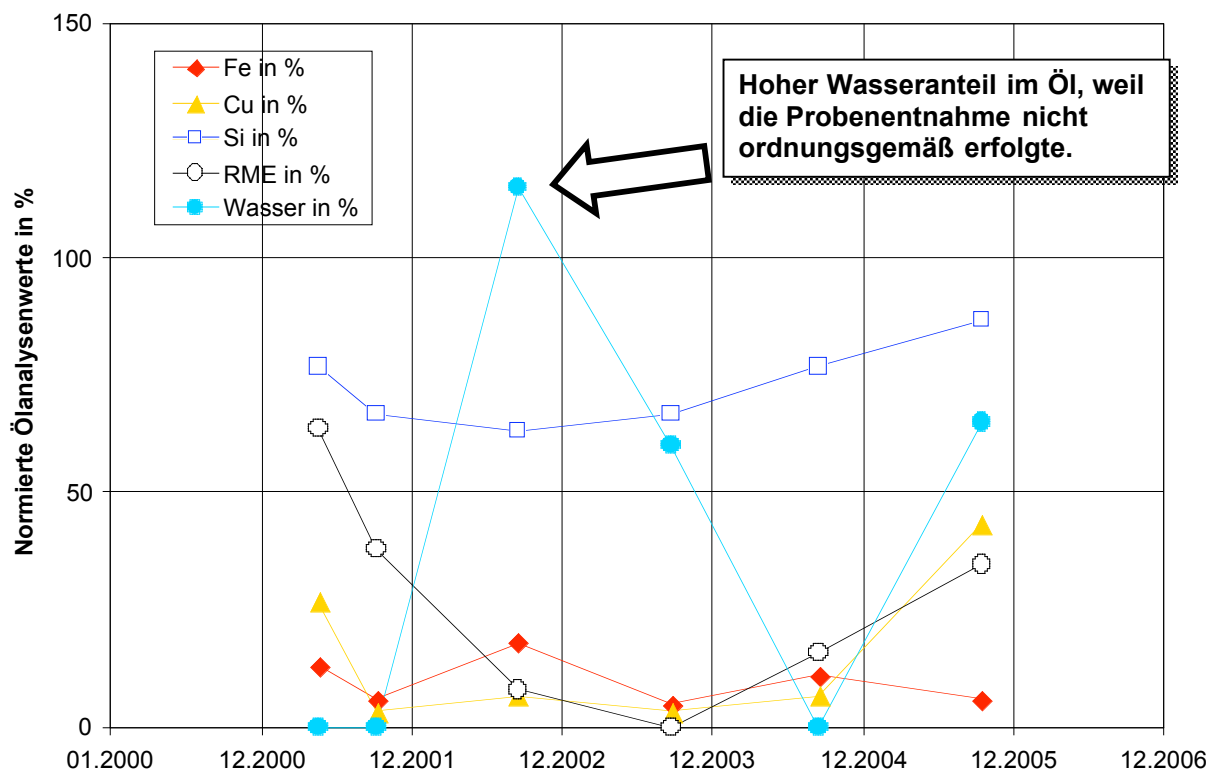


Bild 6: Ölanalyse des Bootes 01-04-S

Das Bild 7 zeigt die Ergebnisse eines Bootes, bei dem über die gesamte Projektlaufzeit die Staub- und RME-Anteile im Motorenöl immer relativ hoch waren. Die Ursache hierfür konnte nicht gefunden werden. Allerdings waren am Motor auch keine Unregelmäßigkeiten zu verzeichnen. Man kann daraus schließen, dass die

Warnungen bei den Ölanalysen von Wearcheck relativ früh ausgesprochen werden und nicht zu panikartigen Reaktionen führen sollten.

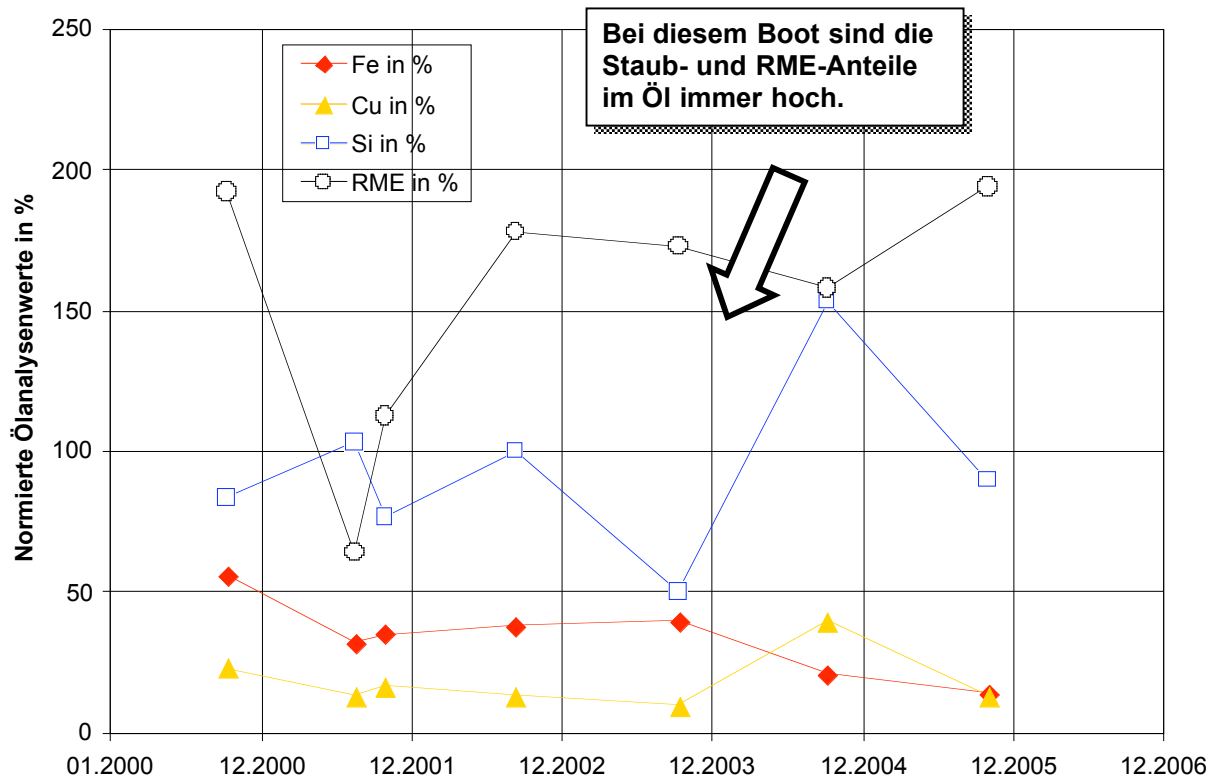


Bild 7: Ölanalyse des Bootes 00-11-S

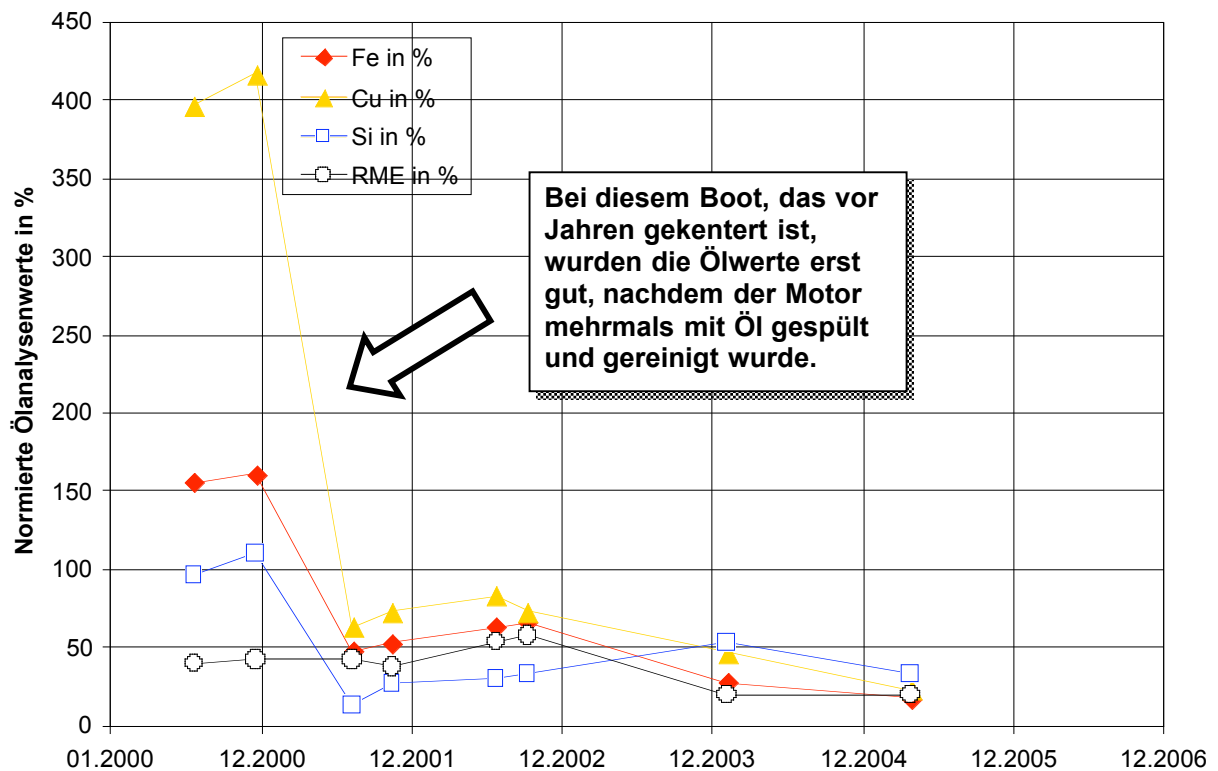


Bild 8: Ölanalyse des Bootes 00-16-M

Bild 8 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 konnten diese Ausreißer teilweise durch Wechsel des Lieferanten abgestellt werden. 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 wurde untersucht, indem zum Ende der Saison und zu Beginn der nächsten Analysen gemacht wurden. Je nach Befüllung des Tanks und der Feuchtigkeitsdifferenz zwischen den beiden Analysen konnten Rückschlüsse gezogen werden, wie sich das „Atmen“ des Tanks auf den Wassergehalt des Inhaltes auswirkt. Ab der Saison 2003 wurden in die Entlüftungsleitungen einiger Boote Trocknungsvorrichtungen mit Silikagel zwischengeschaltet. Hierfür wurden zwei verschiedene Systeme entwickelt:



Bild 9: Trocknungsvorrichtung mit einem Behälter der Fa. Mann&Hummel

Bild 9 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 10: Einfache Trocknungsvorrichtung

Bild 10 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-Anschlußstücken 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 - bis 50 Zentimeter Länge wird die Luftdurchlässigkeit durch die Trockenperlen nur vernachlässigbar beeinflusst - 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.

Die Langzeituntersuchung der Systeme hat gezeigt, dass insbesondere das System mit dem transparenten PVC-Schlauch ideal als Trocknungsvorrichtung geeignet ist. Wägekontrollen „erschöpfter“ Trocknungsvorrichtungen habe gezeigt, dass eine Füllung mit 200 Gramm Trockenperlen während einer Wassersportsaison (6 Monate) 70 Gramm Wasser aufgenommen hat.

## **5.8 Lagerstabilität von RME in geschlossenen Kanistern**

Parallel zu den Kraftstoffanalysen in den Yacht tanks 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 11 bis 14.

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.

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

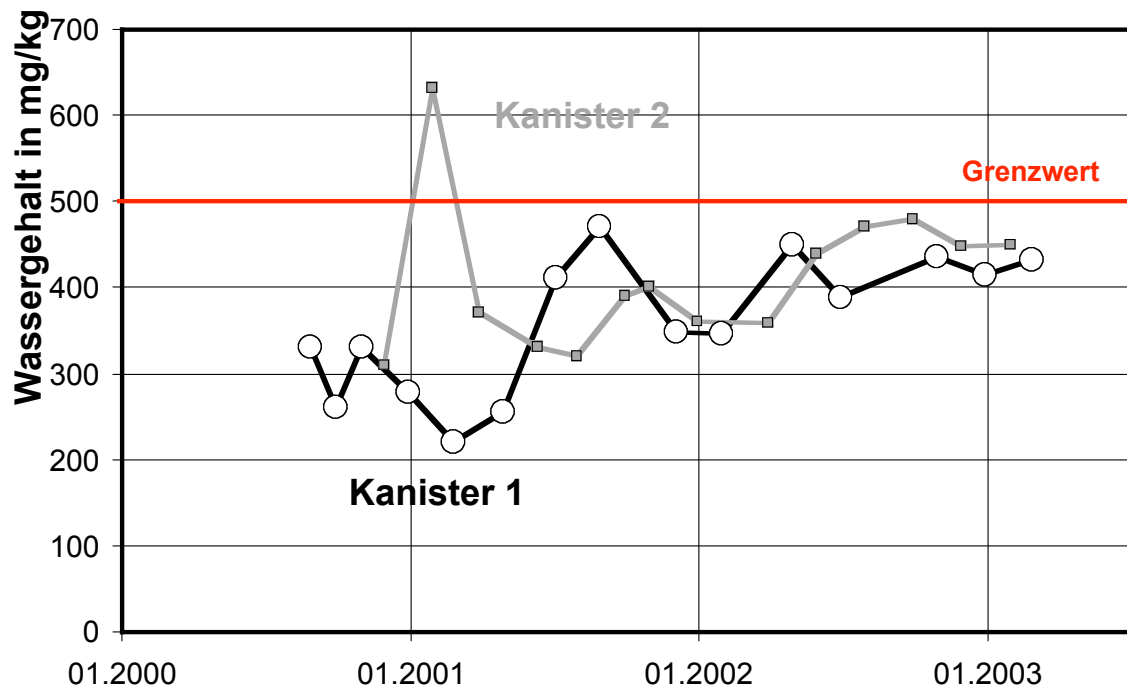


Bild 11: Wassergehalt der RME-Proben im Untersuchungszeitraum von etwa zwei Jahren

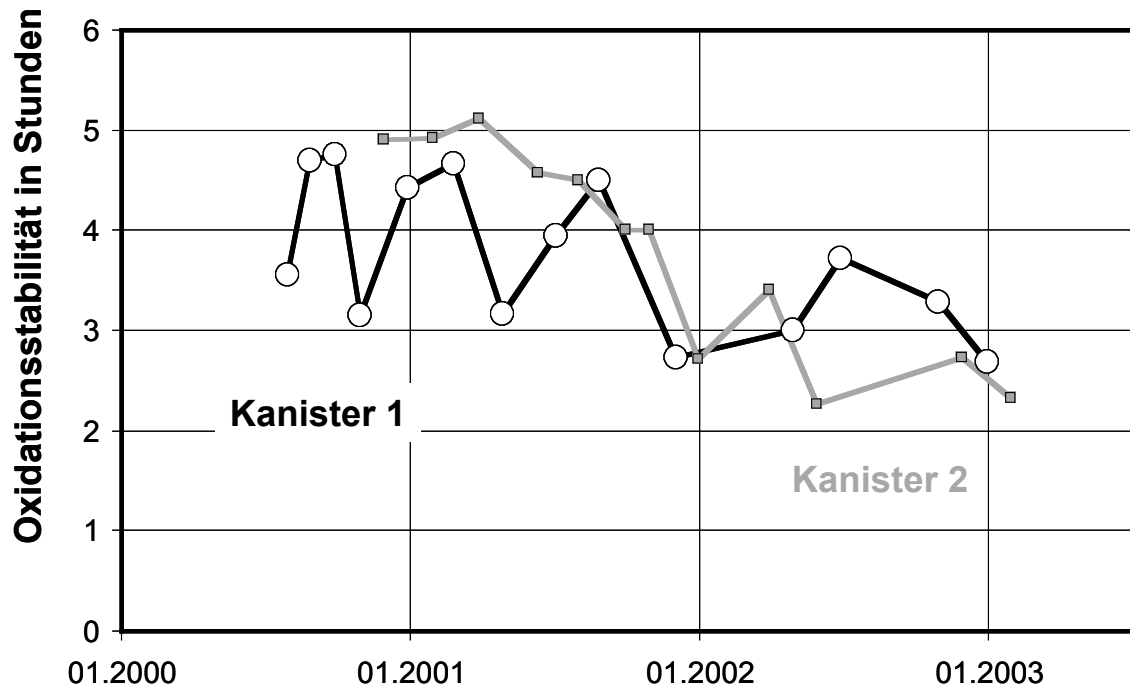


Bild 12: Oxidationsstabilität der RME-Proben im Untersuchungszeitraum von etwa zwei Jahren

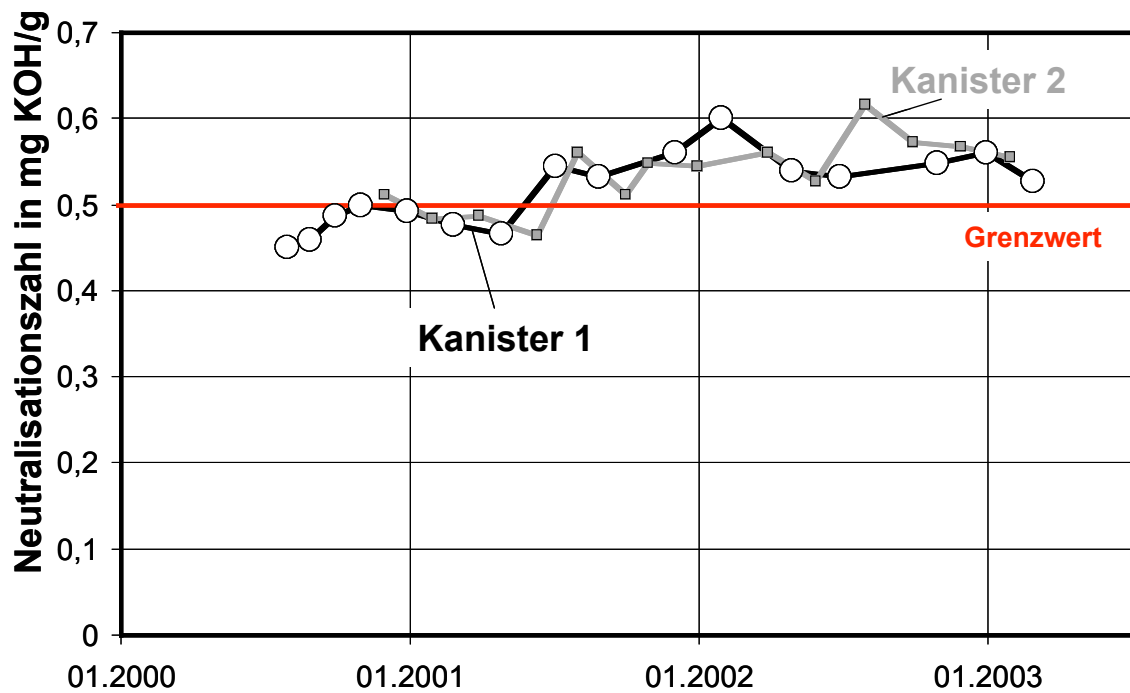


Bild 13: Neutralisationszahl der RME-Proben im Untersuchungszeitraum von etwa zwei Jahren

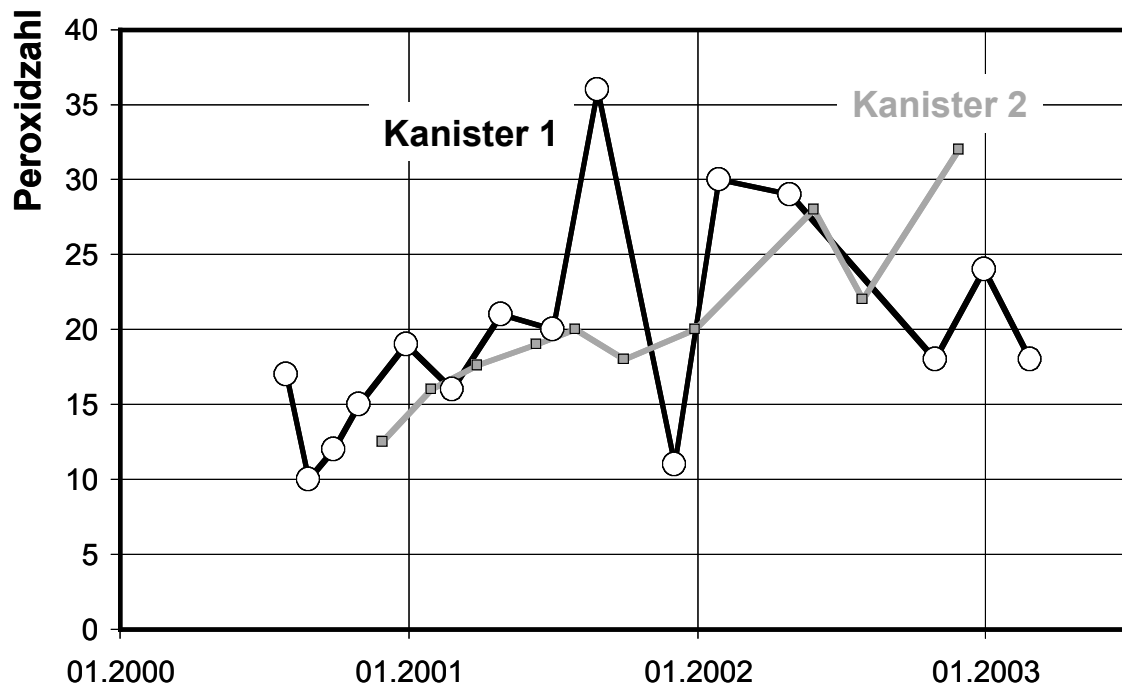


Bild 14: Peroxidzahl der RME-Proben im Untersuchungszeitraum von etwa zwei Jahren

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 Yacht tanks gilt, da bei diesen durch die Entlüftungsleitung ständig Frischluft zugeführt wird. Wenn es aber gelingt, durch die Trocknungsmittel-Filter in den Entlüftungsleitungen die Zufuhr von Luftfeuchtigkeit zu minimieren, dann sollte auch der Biodiesel in Yacht tanks 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.

Eine Fortführung der Lagerversuche war nicht mehr möglich, weil der Kraftstoff durch die Probenentnahmen aufgebraucht war. Da der RME aus der Anfangszeit des Projektes stammt, als noch keine Stabilisatoren erlaubt waren, kann man davon ausgehen, dass die Analyseergebnisse mit heutigem RME wesentlich besser ausfallen würden. Aus gleichem Grund würden heute auch die Yachttank-Analysen besser ausfallen.

Ein anderes Phänomen muss hinsichtlich der Haltbarkeit von Biodiesel ebenfalls berücksichtigt werden: Bei vielen Diesel-Einspritzpumpen führt die 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 Typische Störungen**

Während der sechs Jahre des Biodieselprojekts sind bei den Projektteilnehmern einige biodieselbedingte 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. Natürlich können bei schlecht gewarteten Booten (beispielsweise bei nicht vorgenommenem Austausch der Kraftstofffilter) weitere Schäden auftreten, die allerdings nichts mit dem Kraftstoff zu tun haben.

<b>Datum</b>	<b>Teilnehmer</b>	<b>Störung</b>	<b>Kommentar</b>
2002	01-01-S	Kraftstoffförderpumpe „schwitzt“: Membran wurde durch RME angelöst und musste ersetzt werden.	Je nach Beschaffenheit des Membranmaterials wird es durch RME angelöst. Falls dies geschieht, sollte die Kraftstoffförderpumpe durch eine elektrische Pierburg-Pumpe ersetzt werden (vergl. Umrüstanleitung).
2005	00-02-S		
2002	00-05-S		
2003	00-10-S		
2000	00-12-S		
2004	00-15-S	Die alte mechanische Kraftstoffförderpumpe wurde durch eine elektrische ersetzt, die alte Pumpe fälschlicherweise aber nicht ausgebaut. Das führte dazu, dass die Dichtungen in der alten Pumpe zunehmend schlechter wurden und irgendwann die elektrische Pumpe den kompletten Tankinhalt über die defekte alte Pumpe in die Bilge pumpte...	Jeden Fehler sollte man höchstens einmal machen und dann versuchen, daraus zu lernen.
2003	00-03-S	Der Kunststoff-Geber der Tankanzeige hat sich im RME aufgelöst.	VDO hat den Geber mittlerweile durch einen Edelstahlbauteil ersetzt.
2002	00-04-S	Dichtungen in der Einspritzpumpe (25 Jahre alt) lösten sich auf.	Dichtungen wurden durch biodieselbeständige ersetzt.
2003	00-15-S	Störungen durch Luft in der Kraftstoffleitung. Nach längerem Suchen fand man bei den Abstellhähnen in den Kraftstoff-Leitungen aufgelöste Gummidichtungen.	Ersatz durch RME-resistente Kugelhähne
2003	00-16-M	Undichte Dichtung an den Kraftstoff-Filtern	Ersatz durch RME-resistente Dichtungen



<b>Datum</b>	<b>Teilnehmer</b>	<b>Störung</b>	<b>Kommentar</b>
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.
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.
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.

<b>Datum</b>	<b>Teilnehmer</b>	<b>Störung</b>	<b>Kommentar</b>
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)
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 (vergl. Abschnitt 5.7) oder defekte Tankdeckeldichtungen.
2005	02-01-S	Elektrische Kraftstoffförderpumpe ausgefallen.	Neue Pumpe eingebaut.

## 5.10 Rückmeldungen von den Projektteilnehmern

Ein weiterer wichtiger Punkt, der im Biodiesel-Projekt berücksichtigt wurde, sind die subjektiven Erfahrungen der Projektteilnehmer. Dazu wurden anfänglich am Ende jeder Saison Fragebogen mit insgesamt zwölf Fragen an die Projektteilnehmer ausgegeben und diese gebeten, die Fragen zu beantworten. Die überaus positiven Rückmeldungen führten dazu, dass in den Folgejahren auf die systematische Befragung der Teilnehmer verzichtet werden konnte. 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.

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

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 Problem 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 anderen nicht. Die Frage, ob die Projektteilnehmer das Projekt weiter empfehlen können (Zeile 12), wird im Allgemeinen mit ja beantwortet.

Das Biodiesel-Projekt wurde Ende 2005 offiziell abgeschlossen. Es war interessant zu beobachten, wie sich die Projektteilnehmer in der Saison 2006 ohne offizielle Betreuung durch das Projektteam verhalten. Es hat sich gezeigt, dass nahezu alle Teilnehmer auch weiterhin ihr Boot mit Biodiesel betreiben. Die Rückmeldungen am Ende der Saison 2006 waren ebenso positiv wie die ganzen Jahre zuvor. Es traten keine Probleme auf, die nicht schon bisher bekannt waren (z. B. undichte Tankdichtungen). Das ist ein Zeichen dafür, dass man das Projekt als abgeschlossen betrachten kann. Alle potenziellen Probleme sind wohl im Laufe des Projekts bekannt geworden und die notwendigen Abhilfemaßnahmen wurden erarbeitet.

## **5.11 Weitere während des Projekts durchgeführte 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 den Messen Interboot 2001 und Interboot 2004 in Friedrichshafen
- Durchführung von Biodiesel-Symposien auf den Messen Interboot 2001 und Interboot 2004
- Jährliche Teilnehmertreffen zum Erfahrungsaustausch und mit Vorträgen des RME-Teams
- Viele kleinere Informationsveranstaltungen bei verschiedenen Wassersportvereinen
- Informationsweitergabe über die Homepage des Labors für Verbrennungsmotoren an der HTWG Konstanz ([www.vmot.htwg-konstanz.de/biodiesel](http://www.vmot.htwg-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 sechs 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 **weiterhin beratenden** 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. Während die Projekt-Teilnehmer in den sechs Projektjahren noch intensiv durch das RME-Team betreut und die Umstellungskosten gesponsert wurden, um alle nur möglichen Erfahrungen durch Rückmeldungen zu sammeln, kann der Betrieb von Motoren im maritimen Bereich mit den gesammelten Erfahrungen heute problemlos auch ohne Projektbegleitung durchgeführt 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 „ULTRAMARIN Die Meichle + Mohr Marina“ in Kressbronn ist die erste Seetankstelle für RME äußerst vorteilhaft, weil dort unter den etwa 2500 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 wurde begegnet, indem Trocknungsaggregate in die Entlüftungsleitungen der Tanks geschaltet und damit sehr positive Erfahrungen gesammelt wurden.

Das Projekt wurde durch Versuchsanordnungen mit Oxidations-Katalysatoren erweitert, um die Abgaswerte zu verbessern und um den typischen „Frittengeruch“ zu beseitigen. Dies wird **nur** 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. Die Ergebnisse dieses Oxikat-Projektes (KLAISSLE 2007) können auf der Homepage des Labors für Verbrennungsmotoren abgerufen werden. (<http://www.vmot.htwg-konstanz.de/biodiesel>)

Man kann davon ausgehen, dass in den sechs Projektjahren und im Beobachtungsjahr danach alle biodieseltypischen Probleme erkannt wurden und dass die Maßnahmen zu ihrer Beseitigung funktionieren. Während anfangs die Beteiligung am Projekt noch etwas Pioniergeist erforderte, sind jetzt die Voraussetzungen dafür geschaffen, dass RME im maritimen Bereich zur umweltbewussten Selbstverständlichkeit werden kann.

## **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

BIODIESEL-SYMPOSIUM: Tagungsband zum Symposium am 24.09.2004 anlässlich der Interboot 2004 in Friedrichshafen am Bodensee. UFOP Berlin 2004

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. HENBLER, 2000: Biodiesel und Sportschiffahrt in der Euregio Bodensee. Studienarbeit FH Konstanz 2000
- S. O. Gärtner, G. A. Reinhardt, ifeu-Gutachten: Erweiterung der Ökobilanz für RME, Heidelberg, Mai 2003
- J. JOACHIM, 2001: Auswertung der Betriebserfahrungen in der Saison 2000. Studienarbeit FH Konstanz 2001
- M. KLAISSLE, K. SCHREINER, 2007: Abschlussbericht zum Oxikat-Projekt. HTWG Konstanz 2007
- K. KRAUS, G. NIKLAS, M. TAPPE, 1999: Aktuelle Bewertung des Einsatzes von Rapsöl/RME im Vergleich zu Dieselkraftstoff. Umweltbundesamt Berlin 1999
- 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, 2004: Biodiesel „Flower Power“ – Fakten, Argumente, Tipps. UFOP Berlin 2004

## **Internet-Seiten**

Labor für Verbrennungsmotoren an der Hochschule Konstanz (HTWG):  
<http://www.vmot.htwg-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>

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  
Wagnerstraße 8-12  
D-61381 Friedrichsdorf  
Tel.: +49-6175-796076 u. 0049-173/9433811

### **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*

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

Muster zum Ausfüllen des Fahrtenbuches:

1.	2.	3.	4.		
Ifd. 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  
Teillast: restliche Betriebspunkte

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

Ifd. Nr.	Datum in TT.MM.JJ	Außen- temp. in °C	Lastbereich in %-Anteilen		
			Leerlauf	Teillast	Volllast
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
<b>Allgemeine Beobachtungen</b> (Kraftstoffverbrauch, Leistung,  					

Betriebsdauer		Besondere Vorkommnisse
in hh:min	in hh,...	
Abgasschwärzung, Laufruhe, Motorölstand, Undichtigkeit...):		

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

<b>Kraftstoffeigenschaft</b>	<b>Einheit</b>	<b>Grenzwert minimal</b>	<b>Grenzwert maximal</b>
Ester-Gehalt	%	96,5	
Dichte bei 15°C	kg/m <sup>3</sup>	860	900
Kin. Viskosität bei 40°C	mm <sup>2</sup> /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 Glycerin	%		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

# Anlage 3: Musterölanalyse

## LABORBERICHT

**WEAR** ✓ **CHECK**®

SCHMIERSTOFF-ANALYSEN  
Kerschelweg 28 • D-83098 Brannenburg  
Tel. +49(0)8034-9047-0 • info@wearcheck.de

Probenbezeichnung

Nummer der aktuellen Probe **WC 361205**

Seite 1 von 1

WEARCHECK GmbH · Postfach 1116 · 83094 Brannenburg

Hans Plaetner-Hochwarth  
Projektleiter BSVb  
Allmendstraße 17  
77971 Kippenheim

Maschinentyp: MD 2010 Nr. 5101 Ava  
Hersteller: Volvo Penta  
Probe aus: Dieselmotor  
Ölbezeichnung: Shell 5W-40  
Ölmenge im System: 1,8 l

Probe betrifft: Code 00/03/S

### Diagnose der aktuellen Laborwerte

Die Verschleißmetalle haben sich seit der letzten Analyse kaum verändert. Der Wassergehalt ist leicht erhöht. Es ist kein erhöhter RME-Eintrag ersichtlich. Ich rate Ihnen: Senden Sie uns die nächste Probe bei Ihrer nächsten Wartung oder anlässlich der üblichen Inspektion zu einer Beobachtung des Trendverhaltens.

Dipl.-Ing. Rüdiger Krethe

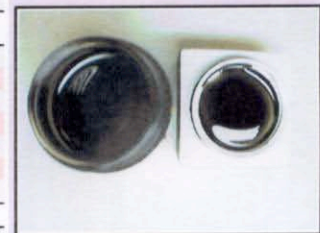
### Gesamtbewertung



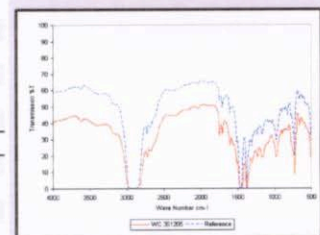
normal

ANALYSENERGEBNISSE			Aktuelle Probe	2 Vorherige Untersuchungen, nicht angezeigt		
LABORNUMMER			WC 361205	WC 280296	WC 215306	WC 167629
GESAMTBEWERTUNG			✓	?	✓	✓
Untersuchungsdatum			06.12.2005	10.12.2004	02.10.2003	25.10.2002
Datum Probenentnahme			12.10.2005	20.11.2004	26.09.2003	01.10.2002
Datum letzter Ölwechsel			20.11.2004	26.09.2004	-	-
Nachfüllmenge seit Wechsel			0	1	0	0
Laufzeit seit Wechsel			18	21	20	30
Laufzeit gesamt			276	256	235	213
Öl gewechselt			Ja	-	-	-
VERSCHEIß						
Eisen	Fe	mg/kg	32	34	22	14
Chrom	Cr	mg/kg	10	12	9	6
Zinn	Sn	mg/kg	0	0	0	0
Aluminium	Al	mg/kg	15	23	17	13
Nickel	Ni	mg/kg	0	0	0	0
Kupfer	Cu	mg/kg	3	4	3	4
Blei	Pb	mg/kg	1	3	0	1
Molybdän	Mo	mg/kg	0	0	0	1
PQ-Index	-	-	OK	OK	27	33
VERUNREINIGUNG						
Silizium, Staub	Si	mg/kg	4	6	5	4
Kalium	K	mg/kg	4	2	0	1
Natrium	Na	mg/kg	9	8	10	3
Wasser	%		0.13	< 0.10	< 0.10	< 0.10
Glykol	-		negativ	negativ	negativ	negativ
Kraftstoff	%		0.50	0.40	0.40	0.50
Rußgehalt	%		0.3	< 0.1	< 0.1	< 0.1
ÖLZUSTAND						
Viskosität bei 40°C	mm²/s		79.13	77.75	76.79	84.97
Viskosität bei 100°C	mm²/s		13.59	13.09	13.18	13.18
Viskositätsindex	-		176	171	175	156
Oxidation	A/cm		11	14	13	12
Nitration	A/cm		10	6	11	9
Sulfation	A/cm		6	3	8	8
Schmutztragevermögen	%		97	100	100	100
ADDITIVE						
Kalzium	Ca	mg/kg	1374	1869	1605	2488
Magnesium	Mg	mg/kg	639	431	593	278
Bor	B	mg/kg	45	142	52	179
Zink	Zn	mg/kg	1014	1222	1251	1363
Phosphor	P	mg/kg	1054	1220	1036	1287
Barium	Ba	mg/kg	0	0	0	0

Probe und Deckel



Infrarot-Spektrum



## **Anschriften der Autoren**

Ansprechpartner für alle Fragen zu Biodiesel in Bootsmotoren:

Hans Plaettner-Hochwarth (BSVb und IWGB)

Allmendstraße 17

77971 Kippenheim

Prof. Dr.-Ing. Klaus Schreiner

Labor für Verbrennungsmotoren

Hochschule Konstanz (HTWG)

Brauneggerstraße 55

D-78462 Konstanz

[www.vmot.htwg-konstanz.de](http://www.vmot.htwg-konstanz.de)