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

Handbuch

Handbuch zur Umrüstung von Sportbooten für den Betrieb mit Biodiesel

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

Handbuch zur Umrüstung von Sportbooten für den Betrieb mit Biodiesel

Hans Plaettner-Hochwarth, Arge FUN
Prof. Dr.-Ing. Klaus Schreiner, Fachhochschule Konstanz

Seite

1	Warum ist es sinnvoll, Sportboote mit Biodiesel zu betreiben?	2
2	Was muss man vor einer Umrüstung beachten?	3
3	Was muss man während des Betriebes beachten?	7
4	Was sollte man bei Störungen tun?	11
5	Wie geht es weiter?	12
6	Weiterführende Literatur	12
7	Bezugsquellen	13
	Anhang	15

Handbuch zur Umrüstung von Sportbooten für den Betrieb mit Biodiesel

1 Warum ist es sinnvoll, Sportboote mit Biodiesel zu betreiben?

Es ist sinnvoll, Sportboote mit Biodiesel zu betreiben, weil „mit Biodiesel kurzfristig eine sofortige und kostengünstige, positive Wirkung für den Umweltschutz am Bodensee zu erreichen ist. Gleichzeitig hat man den Sicherheitsfaktor, die Reichweite und die Leistung zur Verfügung, welche Dieselmotoren in zuverlässigem Umfang reviergerecht bieten. Im Gegensatz hierzu haben die Alternativantriebe noch einigen Nachholbedarf.“ (Plaettner-Hochwarth 1996)

Die „Nachhaltigkeit“ wird nicht nur in der Bodensee Agenda 21 gefordert, sondern dieser Begriff sollte das Tun eines jeden umweltbewussten Wassersportlers bestimmen. Biodiesel (Rapsmethylester, RME) erfüllt diese Forderung wie kein anderer Energieträger. Besonders auf dem Trinkwasserspeicher Bodensee sind seine Ungiftigkeit und die schnelle Abbaubarkeit von großem Vorteil. Die Emissionswerte sind bis auf die Stickoxide (NOx) wesentlich besser als bei fossilem Diesel. Steyr-Motoren haben die Bodensee-Abgasnorm mit RME bestens erfüllt. Ebenso liegen positive Abgasmessungen bei einem anderen Schiffs-Dieselmotor vor.
Dieselgeruch ist besonders in dem teilweise engen Raum einer Yacht äußerst störend. RME ist dagegen geruchsneutral und Verschmutzungen des Bootes durch Rußanteile in den Abgasen sind wesentlich geringer.

Da RME bis zum Jahr 2008 von der Mineralölsteuer befreit ist, wird er 10 bis 20 Cent günstiger als fossiler Diesel gehandelt. Durch diesen Preisvorteil amortisieren sich die Umstellungskosten des Motors recht schnell.

Falls einmal kein RME zu bekommen ist, kann auch fossiler Diesel nachgetankt werden. Dies sollte jedoch vermieden werden, da hierdurch ein Großteil der oben für den Bodensee angeführten Vorteile hinfällig wären.

RME kann privat in größeren Mengen (Vorschriften beachten!) transportiert und gelagert werden, da sein Flammpunkt weit über 100°C liegt. Er fällt dadurch nicht unter die Verordnung über Brennbare Flüssigkeiten. RME ist nur schwach wassergefährdend und daher in die Wassergefährdungsklasse (WGK) 1 eingestuft.
Im Vergleich mit naturbelassenem Rapsöl schneidet dieses in der Ökobilanz hinsichtlich Energieeinsparung und Treibhauseffekt gegenüber RME

wesentlich schlechter ab, da bei der Herstellung (Umesterung) von RME sehr wertvolles Glyzerin als „Nebenprodukt“ anfällt.
Wegen der oben genannten Gründe sollte der Einsatz von Biodiesel für Sportbootmotoren forciert werden. Um den interessierten Bootsbesitzern und Servicewerkstätten die hierfür notwendigen Informationen zu geben, wurde mit Unterstützung der Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP), verschiedener Wassersportverbände am Bodensee und einiger Hersteller von Bootsmotoren in den Jahren 2000 bis 2002 das Projekt „Biodiesel und Sportschiffahrt in der Euregio Bodensee“ durchgeführt (Plaettner-Hochwarth, Schreiner 2003). Die wesentlichen Ergebnisse sind in diesem Handbuch zusammengefasst.

2 Was muss man vor einer Umrüstung beachten?

Bevor ein Sportboot auf den Betrieb mit Biodiesel umgerüstet wird, müssen einige Fragen geklärt werden.

Hersteller	Bemerkung
Beta Marine	Freigabe, bei Bestellung muss ein RME-Paket geordert werden (Kubota-Grundmotor mit genereller Freigabe)
Farymann Diesel	Freigabe (war von Anfang an im Biodiesel-Projekt dabei)
Hatz	Hatz hat eine bislang erteile Freigabe (nur Garantie) wieder zurückgezogen, weil Korrosionsprobleme an Einspritzanlagen, Zylinder und Kolben bei Motoren befürchtet werden, die nur selten betrieben werden.
IVECO aifo	Keine Probleme (wenn es bei der Bestellung angegeben wird)
Lombardini Marine	Hat Unterstützung zugesagt
MerCruiser	Freigabe für Kammermotoren, für DI-Motoren liegen keine Erfahrungen vor (Patenschaften für Motoren im Rahmen des Biodiesel-Projekts)
nanni diesel	Freigabe (Kubota-Grundmotor mit genereller Freigabe)
Steyr Motorentechnik	Freigabe (es liegt Prüfung nach § 1.4 Abs. 2 der Anlage C zur BSO für RME vor)
Volkswagen AG marine	Generelle Freigabe aller SDI- und TDI-Motoren für Biodiesel und Mischungen aus Biodiesel und fossilem Diesel
Volvo Penta	Mündliche Zustimmung zum Biodiesel-Projekt, Übernahme von Patenschaften zugesagt (eventuelle Freigabe in absehbarer Zeit)
Yanmar	Keine Freigabe, aber Zusage von Patenschaften durch den Importeur MARX GmbH&Co, Hamburg

Achtung: Freigaben gelten nur für Motoren ab einem bestimmten Baujahr! In Einzelfällen muss mit dem Motorenhersteller verhandelt werden. Dies wurde bereits in einigen Fällen mit Erfolg praktiziert. Natürlich muss beim werftseitigen Einbau darauf geachtet werden, dass nur RME-beständige Materialien verwendet werden.

Tabelle 1: Freigaben und Zusagen der Motorenhersteller

2.1 Service-Betrieb

Das einfachste ist es, zu einem Service-Betrieb zu gehen, der sich mit der Umrüstung auskennt. Bislang (Stand Frühjahr 2003) gibt es noch keine Betriebe, die speziell für die Umrüstung auf Biodiesel geschult worden sind. Eine ganze Reihe von Service-Betrieben steht dem Biodiesel aber wohlwollend gegenüber und wird von den Erfahrungen des Biodiesel-Projekts profitieren. Die Liste am Ende der Umrüstanleitung enthält eine Auswahl entsprechender Service-Betriebe. Aktuelle Informationen können der Biodiesel-Homepage *(www.invo.fh-konstanz.de/biodiesel)* entnommen werden.

2.2 Freigabe durch den Motorhersteller

Zunächst muss geklärt werden, ob der Boots-Motor für den Betrieb mit Biodiesel vom Hersteller freigegeben wurde (Tabelle 1 auf der Vorseite). Nicht viele Hersteller haben bislang eine generelle Freigabe erteilt. Aufgrund der Ergebnisse des Biodiesel-Projekts kann man aber davon ausgehen, dass nahezu alle Dieselmotoren, besonders die der neueren Baujahre, für eine Umrüstung geeignet sind. Die Tabelle 2 zeigt die Motoren, die im Rahmen des Biodiesel-Projekts umgerüstet wurden.

Vor einer eventuellen Umrüstung sollte insbesondere bei älteren Motoren geklärt werden, ob Ersatzteile gegebenenfalls noch erhältlich sind.

Motor	Leistung in kW	Zylinderzahl
BMW D 7 (Hatz)	4,5	1
Bukh DV10ME	7,4	1
Faryman 33 L 30	6,6	1
Mercedes OM 326 (Baujahr 1959!)	110,3	6
Thornicraft TD Mandoria	70,4	6
Volvo Penta 2001	6,6	2
Volvo Penta 2001 SDC	5,9	2
Volvo Penta 2002	13,2	2
Volvo Penta 2010 BBT	7,4	2
Volvo Penta 2020	13,3	3
Volvo Penta AQ AD 31	95,6	4
Volvo Penta MD 2003	20,5	3
Volvo Penta MD 2010 BBT	7,4	2
Volvo Penta MD 5C	7,0	1
Volvo Penta MD 7A	9,5	2
Yanmar 1GM10	5,5	1
Yanmar 1GM10C	6,7	1
Yanmar 2GM20	13,2	2
Yanmar YSM8	5,8	1

Tabelle 2: Motoren, die im Rahmen des Biodiesel-Projekts umgerüstet wurden

2.3 Umbau der Einspritzpumpe und der Kraftstoffförderpumpe

Problematisch bezüglich der Biodiesel-Nutzung sind im Allgemeinen nicht die Motoren an sich, sondern alle Motor- und Kraftstoffteile, die eventuell nicht biodieselbeständig sind. Es handelt sich dabei insbesondere um die Dichtungen und Kraftstoffschläuche. Dichtungen findet man motorseitig in der Kraftstoffförderpumpe und in der Einspritzpumpe. Die bei vielen Bootsmotoren eingesetzten mechanischen Kraftstoffförderpumpen von Pierburg sind im Rahmen des Biodieselprojekts bei einigen Projektteilnehmern durch Membranschäden ausgefallen. Als Ersatz bietet sich die elektrische Kraftstoffförderpumpe von Pierburg Typ E1F (Pierburg-Nr. 7.21440.51.0) an. Dieser Pumpentyp ist sowohl für Otto-Kraftstoffe als auch für Diesel und Biodiesel (der Norm DIN E 51606) geeignet. Er wird in verschiedenen Größen hergestellt und beispielsweise bei den generell für Biodiesel freigegebenen Motoren von VW und Audi verwendet. Eine Umrüstanleitung für den Einbau der elektrischen Kraftstoffpumpe E1F befindet sich im Anhang.

Bei Einspritzpumpen gibt es auf dem Markt viele Modelle, bei denen man nicht generell sagen kann, ob biodieselbeständige Dichtungen eingebaut wurden. Ein prophylaktischer Umbau der Einspritzpumpen auf biodieselbeständiges Material kann nicht empfohlen werden, weil dieser Umbau mit relativ hohen Kosten (Überholen der gesamten Einspritzpumpe ca. 600 Euro, lediglich Austausch der Dichtungen ca. 250 Euro) verbunden ist. Aus heutiger Sicht wird empfohlen, die Kraftstoffförderpumpe und die Einspritzpumpe zunächst im Originalzustand zu verwenden und regelmäßig zu kontrollieren, ob sie „schwitzt", also Kraftstoff außen sichtbar wird. Sobald das der Fall ist, ist noch genügend Zeit für einen Umbau der Einspritzpumpe bzw. für einen Ersatz der Kraftstoffförderpumpe. Sehr zuverlässig und preisgünstig führt die Fa. Liphardt solche Einspritzpumpenumbauten durch. Sobald allerdings die Pumpen anfangen zu „schwitzen", sollte man den Umbau relativ bald durchführen lassen, damit keine Folgeschäden entstehen. Beispielsweise wäre es bei einem Defekt der Membrane in der Kraftstoffförderpumpe möglich, dass Biodiesel in das Motorenöl gelangt und dort zu einer Schmierölverdünnung führt.

2.4 Ersatz der Kraftstoffschläuche

Man kann davon ausgehen, dass die auf Booten verwendeten Kraftstoffschläuche im Allgemeinen nicht biodieselbeständig sind. Sie müssen deswegen in vielen Fällen ausgetauscht werden. Geeignet sind Schläuche aus Fluorkautschuk oder mehrschichtige Schläuche mit diesem Innenmaterial. Über die Fa. Liphardt können entsprechende Schläuche in den gängigen Abmessungen und der erforderlichen Länge bezogen werden. Vorsicht ist beim Bezug von Schläuchen anderer Lieferanten geboten, da sich diese oft als nicht RME-beständig herausgestellt haben. Man kann von Kosten in der Größenordnung von 12 EUR pro Meter (je nach Durchmesser) ausgehen. Selbst bei dem Kauf eines Bootes mit den für RME-Betrieb frei gegebenen VW-Marinemotoren muss man klären, ob beim werftseitigen Einbau RME-beständige Materialien und Teile verwendet wurden.

2.5 Kontrolle des Tanks, des Reservekanisters und weiterer Dichtungen

Alle Teile, die mit Biodiesel in Berührung kommen, müssen biodieselbeständig sein. Deswegen dürfen neben dem Motor und den Schläuchen auch der Tank und ein eventueller Reservekanister nicht vergessen werden. RME-beständige Reservekanister gibt es im Kraftfahrzeug-Zubehörhandel. Es ist darauf zu achten, dass sie schwarz sind (Vermeidung von UV-Bestrahlung) und die Bezeichnung „HDPE" (Hochdruckpolyethylen) tragen. Eventuell muss auch hier der Austausch der Gummidichtung erfolgen. Tanks sind üblicherweise biodieselbeständig. Manche sind allerdings innen mit einer nicht RME-beständigen Farbe lackiert. Es muss auch kontrolliert werden, ob bei einer Tankreparatur nicht biodieselbeständige Reparaturmaterialien (z.B. Silikon) verwendet wurden. Es ist ebenfalls darauf zu achten, dass Dichtungen am Tank (z.B. für die Füllstandskontrolle) sowie die Dichtung am Tankdeckel biodieselbeständig sind. Dichtungen sind in unterschiedlichen Größen und Ausführungen beim Projekt-Team oder bei der Fa. Liphardt erhältlich. Die Tankgröße soll besonders bei Segelyachten des geringen Treibstoffverbauches wegen so bemessen sein, dass der Inhalt in einer Saison verfahren werden kann.

2.6 Bezugsquellen für Biodiesel

Die Verwendung von Biodiesel in Sportbooten setzt voraus, dass geeigneter Kraftstoff zur Verfügung steht. Grundsätzlich sollte nur Biodiesel gemäß der europäischen Norm EN 14214 (ersetzt die bisherige deutsche Norm E 51606) verwendet werden. Kraftstoff, der nicht dieser Norm entspricht, kann zu Schäden am Motor führen. Weil der Kunde beim Tanken nicht überprüfen kann, ob der Kraftstoff der Norm entspricht, muss er sich darauf verlassen können, dass die Tankstelle nur genormten Kraftstoff anbieten. Da in der Vergangenheit einige „schwarze Schafe" unter den Tankstellenbesitzern bzw. den Kraftstofflieferanten zu finden waren, wurde die Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V. (AGQM) gegründet. Tankstellenbesitzer können der AGQM freiwillig beitreten. Die AGQM überprüft unangemeldet und in unregelmäßigen Abständen die Kraftstoffqualität auf dem Weg von der Herstellung bis zum Endverbraucher. Sie stellt so für die Verbraucher eine optimale Kontrollinstanz dar. Tankstellen, die der AGQM beigetreten sind, kennzeichnen ihre Zapfsäulen durch den im Bild gezeigten Aufkleber. **Aus Gründen des Schutzes der Bootsmotoren wird dringend davon abgeraten, an Tankstellen zu tanken, die nicht der AGQM beigetreten sind.**

Am Bodensee kann Qualitätskraftstoff an folgenden Tankstellen getankt werden:

Ort am Bodensee	Versorgungsmöglichkeiten mit Biodiesel
Kressbronn	Erste RME-Seetankstelle im Wassersportzentrum
Wallhausen	Kanister-Depot bei der Seetankstelle Rechner
Konstanz	Kanister-Depot bei Yachtausrüstung und Yachtcharter Dieter Engert, neben dem DSMC
Konstanz	RME-Tankstellen bei Fa. Ley (Nähe Flughafen)
Friedrichshafen	Tankstelle Schindele, fünf Minuten vom Hafen des WYC entfernt
Fischbach	RME-Tankstelle bei Fa. Welsch (Esso)
Fussach	Kanister-Depot bei der Seetankstelle Schwenninger

Tabelle 3: Biodiesel-Tankstellen am Bodensee

2.7 Weitere Hinweise

Bootsmotoren, die schon beim Betrieb mit fossilem Diesel schlechte Betriebswerte wegen mangelnder Wartung oder Defekten hatten, werden durch die Verwendung von Biodiesel auch nicht besser. Im Zweifelsfall sollte man die Umrüstung auf Biodiesel zum Anlass nehmen, den Motorzustand im Rahmen einer Inspektion überprüfen zu lassen. Es hat sich gezeigt, dass insbesondere schlechte oder schlecht eingestellte Einspritzdüsen nach der Umstellung auf Biodiesel besonders anfällig waren. Während beim Betrieb mit fossilem Diesel der typische schwarze Diesel-Rauch andere Probleme überdecken kann, können schlechte Einspritzdüsen im Biodieselbetrieb durch weißen Rauch erkannt werden.

Es hat sich herausgestellt, dass Dieselmotoren im maritimen Bereich oft „stiefmütterlich" gewartet werden. Grundsätzlich sollte unabhängig von der Treibstoffart von Zeit zu Zeit das Spritzbild der Einspritzdüse kontrolliert werden. Ölwechsel am Ende der Saison sind Pflicht und auch Bestandteil der Garantiebedingungen der Hersteller. Eine Motorenöl-Analyse zeigt sehr anschaulich den „Gesundheits-Zustand" des Motors. Es ist daher anzunehmen, dass die Projektmotoren die am sorgfältigsten beobachteten und gewarteten Motoren am Bodensee sind.

3 Was muss man während des Betriebes beachten?

3.1 Kraftstofffilter

Biodiesel hat Lösungsmitteleigenschaften. Deswegen kann es sein, dass nach der Umstellung auf Biodiesel Ablagerungen, die von fossilem Diesel stammen, angelöst und in die Kraftstoffleitung mitgeschwemmt werden. Deswegen sollte der Kraftstofffilter spätestens nach dem Verbrauch einer Tankfüllung RME ausgetauscht werden. Bei geringem Verbrauch kann dies auch schon früher erfolgen. Ein verstopfter Kraftstofffilter macht sich durch Leistungsabfall bemerkbar.

3.2 Sichtkontrolle der Kraftstoffanlage

Wie im Abschnitt 2 schon beschrieben wurde, müssen die Dichtungen in der Einspritzpumpe und die Kraftstoffförderpumpe eventuell ausgetauscht werden. Deswegen sollte man während des Betriebs mit Biodiesel regelmäßig eine

Sichtkontrolle dieser Bauteile vornehmen, um austretenden Kraftstoff sehr frühzeitig zu erkennen. Gegebenenfalls kann es sinnvoll sein, schon vorher die Bezugsmöglichkeiten für die Kraftstoffförderpumpe zu klären und die Werkstatt für den Umbau der Einspritzpumpe zu finden, um die Stillstandszeit des Motors zu minimieren.

3.3 Kraftstoffqualität tanken

Selbstverständlich sollte während der gesamten Betriebsdauer nur Qualitätskraftstoff getankt werden, wie es im Abschnitt 2 schon erläutert wurde. Bei Engpässen kann jederzeit zwischen fossilem Diesel und Biodiesel gewechselt werden.

3.4 Ölqualität und Ölwechselintervall

Biodiesel hat andere Verdampfungs-, Zündungs- und Verbrennungseigenschaften als fossiler Dieselkraftstoff. Deswegen kann insbesondere bei kaltem Motor (Teillastbereich oder Kaltstart) mehr flüssiger Kraftstoff an den Kolbenringen vorbei in die Ölwanne des Motors gelangen als bei fossilem Diesel. Hinzu kommt, dass im normalen Betrieb Kraftstoff, der sich im Motorenöl befindet, zumindest teilweise wieder ausdampft. Weil bei Biodiesel die Verhältnisse ungünstiger sind, besteht eine höhere Gefahr der Schmierölverdünnung als beim Betrieb mit fossilem Diesel. Bedingt durch die unterschiedlichen Einspritzvorgänge ist die Gefahr der Schmierölverdünnung bei direkt-einspritzenden Motoren größer als bei Vorkammer- oder Wirbelkammermotoren. Aus diesem Grund sollten beim Biodieselbetrieb die Ölwechselintervalle vorsichtshalber halbiert werden. Bei den meisten Sportbooten spielt das allerdings keine Rolle, da diese im Allgemeinen weniger als 50 Betriebsstunden pro Saison gefahren werden und deswegen der Ölwechsel nicht betriebszeitabhängig, sondern im Rahmen der Jahresinspektion vorgenommen wird. Motorboote, die im Laufe einer Saison sehr viel betrieben werden, müssen aber eventuell die Halbierung der Betriebsstunden-Ölwechselintervalle beachten. Es sollte selbstverständlich sein, dass der Ölwechsel im Herbst am Ende der Saison und nicht nach der Winterpause vorgenommen wird, damit das Boot mit frischem Öl im Winter eingelagert wird. Altes Öl enthält aggressive Verbrennungsrückstände, welche während der Betriebspause im Winter korrosive Schäden im Motor verursachen können. Versuche mit speziellen Korrosionsschutzölen verliefen nicht erfolgreich. Deswegen sollte das Öl verwendet werden, welches der Motorhersteller in den Betriebsunterlagen empfiehlt. Es handelt sich dabei um Öle, welche speziell für den maritimen Bereich bereits Additive gegen Korrosion enthalten.

3.5 Alterung des Kraftstoffes

Biodiesel verhält sich wie ein Naturprodukt und altert im Laufe der Zeit. Deswegen sollte möglichst darauf geachtet werden, dass er im Tank nicht älter wird als ein Jahr. Bootsbesitzer, die im Laufe eines Jahres nur wenig fahren, sollten deswegen ihren Bootstank nicht komplett auffüllen. Eine Problematik ergibt sich jedoch daraus, dass sich ein Tank nicht zu lange in teilbefülltem Zustand befinden sollte. Durch die große RME-Oberfläche in einem teilbefüllten Tank, 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. Falls eine Yacht einen zu großen Tank besitzt, sollte man seinen Austausch gegen einen kleineren in Erwägung ziehen. Dies trifft ebenso bei Verwendung des fossilen Diesels zu, da auch dieser besonders durch die hier zahlreich beigefügten Additive in den entsprechenden Zeiträumen altert. Mit In-Kraft-Treten der europäischen Norm für Biodiesel DIN EN 14214 wird ebenfalls ein Mindestwert für die Oxidationsstabilität vorgegeben, der durch den Einsatz geprüfter Additive wie z. B. Butylhydroxitoluol (E 321) durch die Kraftstoffhersteller zu gewährleisten ist. Damit wird einer wichtigen Forderung der Motorenhersteller als Ergebnis des Normungsprozesses entsprochen. Es wird sich im Laufe der nächsten Jahre zeigen, ob das Problem der Alterung von Biodiesel damit reduziert wird. Ebenso ist der Einfluss auf die Motorölqualität zu untersuchen.

3.6 Überwinterung

Biodiesel verhält sich stark hygroskopisch, das heißt Wasser anziehend. Wenn Biodiesel in einem geschlossenen Behälter aufbewahrt wird, spielt das keine große Rolle. Im Bootstank befindet sich über dem Kraftstoff aber Luft, die Wasser in Form von Luftfeuchtigkeit enthält. Je länger Biodiesel Zeit hat, diese Feuchtigkeit aufzunehmen, und je öfter die Luft oberhalb des Flüssigkeitsspiegels ausgetauscht wird, umso mehr Wasser wird vom Biodiesel aufgenommen. Dieses Wasser kann den Motor durch Rostbildung schädigen. Deswegen muss die Aufnahme von Wasser in Biodiesel begrenzt werden. Die europäische Norm EN 14214 sieht einen maximalen Wassergehalt von 500 mg Wasser pro kg Kraftstoff für Tankstellen vor. An den Projekt-Tankstellen liegt dieser Wert jedoch wesentlich niedriger; so wurden bei Kontrollanalysen Werte von nur 184 ppm gefunden. Dadurch hat man im Yachttank etwas „Reserve". (Die bisherige deutsche Norm hatte einen Grenzwert von 300 mg/kg.) Bei Pkw- und Lkw-Motoren spielt die hygroskopische Eigenschaft keine große Rolle, weil der Biodiesel in Pkw-Tanks im Allgemeinen schnell aufgebraucht wird und so nicht alt werden kann. Sportboote tanken dagegen teilweise nur einmal pro Jahr. Deswegen befindet sich in vielen Sportboottanks Kraftstoff, der durchaus älter als ein Jahr sein kann. In dieser Zeit kann Biodiesel viel Wasser aufnehmen. Man sollte darauf achten, dass die maximale Konzentration von Wasser im Biodiesel im Betrieb nicht höher als 1000 mg/kg wird.

Frischluft gelangt über die Tankentlüftung in den Bootstank. Zum einen muss über die Entlüftung das Kraftstoffvolumen, das im Motor verbraucht wurde, durch Luft ersetzt werden. Zum anderen „atmet" der Tank, indem sich bei hohen Temperaturen die Luft im Tank ausdehnt und teilweise ins Freie entweicht, während bei der Abkühlung (z.B. nachts) feuchte Frischluft in den Tank gelangt. Im Rahmen des Biodiesel-Projekts werden zurzeit Methoden untersucht, um die Zufuhr von Frischluft in den Tank zu kontrollieren und die Luft eventuell zu trocknen. Sobald gesicherte Ergebnisse vorliegen, werden diese auf der InVo-Biodiesel-Homepage veröffentlicht. Unabhängig davon kann der Bootsbetreiber aber dafür sorgen, dass der Tank während der Winterpause ganz gefüllt ist. Dadurch

kann der Tank keine Luftfeuchtigkeit aus der Umgebung „einatmen“ und an der kleinen luftseitigen Oberfläche kann, wie oben beschrieben, kaum Alterung durch Oxidation stattfinden. Die Tankgröße sollte dann jedoch möglichst dem Jahresdurchsatz angepasst sein.

3.7 Kraftstoffanalyse

In besonderen Fällen kann es notwenig sein, die Qualität des Biodiesels im Tank zu kontrollieren. Dazu muss dem Tank eine Kraftstoffprobe entnommen und diese in ein Analyselabor geschickt werden. Weil die Kosten für eine Kraftstoffanalyse relativ hoch sind (ca. 350 EUR für die Kontrolle des Wassergehaltes im Biodiesel), sollte man diese vermeiden und dafür sorgen, dass nur einwandfreier Kraftstoff getankt wird und dass dieser im Tank nicht alt wird.

3.8 Ölanalyse

Ölanalysen sind ein wichtiges Hilfsmittel, um den Motorzustand zu beurteilen. Die Ergebnisse der Öluntersuchungen können Auskunft darüber geben, wie lange das Öl noch verwendet werden kann, und können Motorenverschleiß frühzeitig erkennen. Da Ölanalysen relativ teuer sind (ca. 40 EUR), werden sie umso mehr angewendet, je größer ein Motor und je teurer folglich der Ölwechsel ist. Bei Sportbootmotoren lohnt sich eine Ölanalyse zur eventuellen Verlängerung des Ölwechselintervalls nicht. In besonderen Fällen kann eine Ölanalyse aber sinnvoll sein.

Die Interpretation der Ölanalyse ist nicht einfach. Zunächst sollte man sich auf die Bewertung durch das Labor verlassen. Wenn man öfters Ölanalysen durchführen lässt, so sollte man sinnvollerweise die Ergebnisse grafisch über der Betriebszeit des Motors auftragen. Auf diese Weise lassen sich Trends besser erkennen. Weitere Details sind dem Projekt-Abschlussbericht zu entnehmen.

3.9 Besondere Sorgfalt bei der Probenentnahme für Öl- und Kraftstoffanalysen

Bei der Analyse von Öl- oder Kraftstoffproben werden verschiedene Stoffe auf Konzentrationen im ppm-Bereich (engl. parts per million, Abk. für mg/kg) getestet. Das setzt natürlich voraus, dass bei der Probennahme das Öl bzw. der Kraftstoff nicht verunreinigt wird. Wenn beispielsweise eine Kraftstoffprobe von etwa 0,1 Liter entnommen wird und in dem Probengefäß ein Tropfen Wasser war (10 mm^3), dann enthält die Probe auf diese Weise eine Wasserkonzentration in der Größenordnung von 10 mg Wasser pro 100 g Kraftstoff. Das sind dann 100 mg Wasser pro kg Kraftstoff. In dieser Größenordnung liegt auch der in der Norm vorgegebene Grenzwert von 500 mg/kg. Das bedeutet, dass bei der Probennahme peinlich auf Sauberkeit der Entnahmeeinrichtung und des Entnahmegefäßes geachtet werden muss. Ölproben kann man jederzeit leicht selbst mit der vom Labor Wearcheck vertriebenen „Vampire“-Pumpe in die Probengefäße ziehen oder beim Ölwechsel als Durchschnittsprobe entnehmen. Es ist zu beachten, dass dabei der Motor betriebswarm ist und dass die Probe nicht aus dem Ölsumpf geholt wird. Das ist bei Bootsmotoren nicht einfach zu kontrollieren, da man nicht erkennen kann, wie lange der Weg von der Öffnung für den Ölmesstab

bis zum Ölsumpf ist. Sinnvollerweise führt man den Schlauch der Vampire-Pumpe so weit ein, bis man einen Widerstand bemerkt. Danach zieht man den Schlauch wieder einige Zentimeter zurück.

3.10 Schutz des Bootsanstrichs

Aufgrund seiner Lösungsmitteleigenschaft kann Biodiesel die Lackierung des Motors oder des Bootes angreifen, wenn Kraftstoff verschüttet wird. (Zweikomponenten-Lacke sind gegen Biodiesel beständig; ebenso das Gelcoat von GFK-Booten.) Deswegen sollte versehentlich verschütteter Kraftstoff sofort aufgewischt werden.

4 Was sollte man bei Störungen tun?

Trotz aller Vorsichtsmaßnahmen kann es dennoch zu Störungen kommen. Hierbei empfehlen sich folgende Maßnahmen:

4.1 Startprobleme

Beim Betrieb mit Biodiesel starten manche Motoren nicht so gut wie im Betrieb mit fossilem Diesel. Das hängt damit zusammen, dass Biodiesel andere Verdampfungs-, Zündungs- und Verbrennungseigenschaften als fossiler Dieselkraftstoff hat. (Bei Biodiesel ist die Cetanzahl zwar höher als bei fossilem Diesel. Der Siedeverlauf liegt aber ungünstiger.) Deswegen kann es sein, dass der Startvorgang etwas länger dauert oder dass der Motor nach dem Kaltstart wieder ausgeht. Es kann keine allgemeine Empfehlung gegeben werden, wie man die Startprobleme zuverlässig unter allen Bedingungen beseitigt. Die Teilnehmer des Biodiesel-Projekts haben sich folgendermaßen geholfen:

- Beim Starten im Leerlauf auf Vollgas stellen
- Falls vorhanden, Starthilfeknopf betätigen
- Gas geben vor dem Anlassen
- Vor dem Einkuppeln Motor kurze Zeit im Leerlauf lassen
- Batterie mit höherer Kapazität einbauen
- Leerlaufdrehzahl etwas höher einstellen

Diese Maßnahmen sollten nicht alle gleichzeitig eingesetzt werden, sondern je nach Motor und Umgebungstemperatur erprobt werden.

4.2 Undichtigkeiten an der Kraftstoffförderpumpe, an der Einspritzpumpe und an Dichtungen

Biodieselbeständige Ersatzdichtungen kann man bei der Fa. Liphardt beziehen, Kraftstoffförderpumpen über das Projekt-Team bei der Fa. Trost. Bei Liphardt kann man auch die Einspritzpumpe umbauen lassen.

4.3 Weißrauchprobleme

Einige Motoren reagieren auf den Betrieb mit Biodiesel durch eine leichte Weißrauchfahne, insbesondere nach dem Kaltstart. Diese legt sich im Allgemeinen aber nach einiger Zeit. Bei einem Motortyp (Thornicraft TD Mandoria) konnten diese Probleme aber nicht beseitigt werden. Bei anderen Motoren war der Weißrauch ein Hinweis für eine schlechte Einstellung der Ein-

spritzdüsen. Nach einem Motorservice, den man ohnehin regelmäßig durchführen lassen sollte, waren die Probleme beseitigt.

4.4 „Frittengeruch" der Abgase

Biodieselabgase riechen anders als die von Dieselmotoren. Manche empfinden den Geruch nach überhitztem Fett („Frittengeruch") als lästig, andere sehen in ihm einen deutlichen Fortschritt gegenüber dem typischen Dieselgeruch. Der „Frittengeruch" lässt sich mit einfachen Mitteln nicht verhindern. Am Institut für Verbrennungsmotoren der Fachhochschule Konstanz läuft zurzeit ein Projekt, bei dem versucht werden soll, mit Hilfe eines Oxidationskatalysators den Geruch zu beseitigen. Bei Kraftfahrzeugen ist dieses Problem durch die serienmäßig eingebauten Oxidationskatalysatoren zufrieden stellend behoben. Ergebnisse dieses Projekts bei Booten werden auf der InVo-Biodiesel-Homepage veröffentlicht.

5 Wie geht es weiter?

Aufgrund der positiven Ergebnisse des Biodiesel-Projekts am Bodensee kann der Einsatz von Biodiesel in Sportbooten im Allgemeinen empfohlen werden. Je mehr Bootsbesitzer Biodiesel einsetzen, umso mehr Erfahrungen können gewonnen werden. Wenn diese Erfahrungen an das Institut für Verbrennungsmotoren weitergeleitet werden, so können sie über die InVo-Homepage allen Interessenten zur Verfügung gestellt werden.

Ein weiterer Punkt ist die Schulung von Servicebetrieben, die in den nächsten Jahren vorgenommen werden soll. Auf diese Weise wird der Einsatz von Biodiesel auch für solche Bootsbesitzer möglich sein, die an ihrem Boot nicht selbst „basteln" (Schläuche ersetzen, Dichtungen austauschen) wollen.

Wenn es gelingt, mehrere Servicebetriebe als Anlaufstellen für Biodiesel-Umrüstungen zu gewinnen, dann sollte es auch möglich sein, dass die Motorenhersteller entsprechende Garantiezusagen machen. Bislang sind die Biodiesel-Interessenten, zumindest bei einigen Motortypen, noch auf das Wohlwollen der Hersteller angewiesen.

In den nächsten Jahren soll das Netz der Bezugsquellen (möglichst auch durch Seetankstellen), die Biodiesel in genormter Qualität anbieten und sich von der AGQM kontrollieren lassen, vergrößert werden.

Falls das Interesse groß genug ist, soll auf der InVo-Biodiesel-Homepage ein Forum für Biodiesel-Fragen eingerichtet werden.

6 Weiterführende Literatur

H. Plaettner-Hochwarth, K. Schreiner, 2003:

Biodiesel und Sportschifffahrt in der Euregio Bodensee. Abschlussbericht zum UFOP-Projekt in den Jahren 2000 bis 2002. UFOP Berlin 2003

Internet-Seiten

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

7 Bezugsquellen

Kraftstoffanalysen:

ASG Analytik-Service Gesellschaft mbH
Feldstrasse 16-20
D-86156 Augsburg
Tel.: +49-49821-4862518
Internet: www.asg-analytik.de

Kosten für eine Analyse: ca. 350 Euro

Ölanalysen:

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

Kosten für eine Ölanalyse: ca. 40 EUR

RME-beständige Schläuche und Dichtungen:

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

Elektrische, biodieselbeständige Kraftstoffförderpumpe:

Typ: Pierburg E1F (Nr. 7.21440.51.0) ca. 80 € bei:

Fritz Trost GmbH&Co
Max-Planck-Straße 23
D-70736 Fellbach
Tel.: +49-711-5763-300

Einige Service-Betriebe am Bodensee, die bezüglich Biodiesel aufgeschlossen sind:

Hinweis: Die Liste wird ständig erweitert. Auf der InVo-Biodiesel-Homepage „www.invo.fh-konstanz.de/biodiesel“ wird eine aktualisierte Liste bereitgehalten.

KAUFMANN alles ums Boot
L. Rechner
Inh. U. Kaufmann
Uferstraße 28
D-78465 Konstanz
Tel.: +49-7533-5254

HL Schiffstechnik GmbH
Im Wassersportzentrum Gohren
D – 88079 Kressbronn
Tel.: +49-7543-5588
Fax: +49-7543-5602

Neptun Bootspflege-Service GmbH
Strandbadstrasse 21
D-78315 Radolfzell
Tel.: +49-7732-56956
Fax: +49-7732-57752

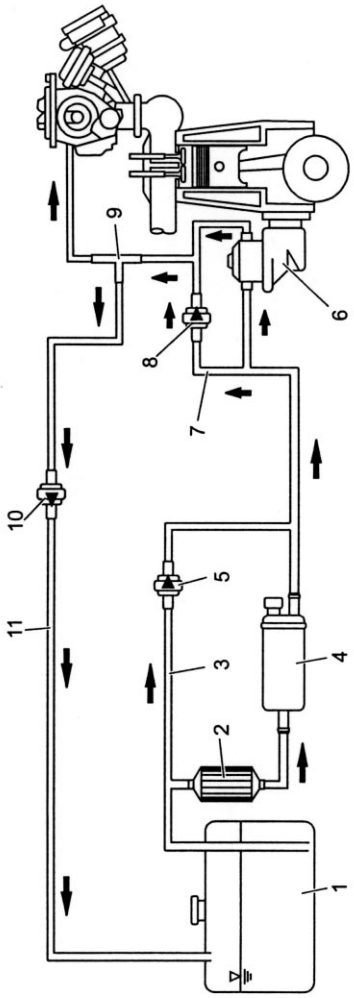
Gert Hoeckle GmbH
Bregenzer Strasse 150-154
D-88131 Lindau
Tel.: +49-8382-96690

Hartmann
Bootswerft - Ausrüstung - Schiffstechnik
Hafenstraße 5
A-6971 Hard
Tel.: +43-5574-76100
Fax: +43-5574-86317
E-Mail: info@hartmann.at
Homepage: http://www.hartmann.at

Boots-Service Jakob GBR
Winterlager + Motoren + Elektrik
Ernst Jakob
Torenstrasse 8
D-88709 Meersburg
Tel.: +49-7532-7353
Fax: +49-7532-2422

Anhang

Einbauskizze für die elektrische Kraftstoffförderpumpe E1F von Pierburg (Weitere Informationen sind in der Service-Information si 0062 zu finden.):



Einbauschema

1 Kraftstofftank
2 Kraftstoff-Filter
3 Saugleitung
4 elektrische Kraftstoffpumpe (E1F)
5 Rückschlagventil (RV) in der Saugleitung
6 vorhandene Kraftstoffpumpe (KP)
7 Bypass KP
8 Rückschlagventil (RV) im Bypass KP
9 Druckregelventil (DRV)
10 Rückschlagventil (RV) im Kraftstoff-Rücklauf
11 Kraftstoff-Rücklauf

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

A Anschriften der Autoren

Hans Plaettner-Hochwarth, Arge FUN
Allmendstraße 17
D-77971 Kippenheim

Prof. Dr.-Ing. Klaus Schreiner
InVo - Institut für Verbrennungsmotoren
Fachhochschule Konstanz
Brauneggerstraße 55
D-78462 Konstanz

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

Reinhardtstraße 18 • 10117 Berlin • www.ufop.de