



**Motoröluntersuchungen  
von Omnibussen  
im B100 Betrieb**

**Herausgeber**

Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V. (AGQM)

Am Weidendam 1A

10117 Berlin

E-Mail: [info@agqm-biodiesel.de](mailto:info@agqm-biodiesel.de)

**Bildnachweis**

Titelbild: Mit dem Image Creator von Designer am 06.06.2024 durch künstliche Intelligenz erzeugt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des auszugsweisen Nachdrucks, der Herstellung von Mikrofilmen und der fotomechanischen Wiedergabe ist nur mit ausdrücklicher schriftlicher Genehmigung der Herausgeber gestattet.

## Inhalt

1	Einleitung.....	1
2	Projekt B100-Busse .....	1
2.1	Fahrzeuge .....	2
2.2	Betriebsstoffe .....	2
2.3	Probenahme und Analysen .....	3
3	Ergebnisse .....	3
3.1	Motorölverdünnung.....	3
3.2	Metallbelastung .....	4
3.3	Basenzahl.....	5
3.4	Unauffällige Parameter .....	5
4	Zusammenfassung und Ausblick .....	5
5	Danksagung .....	6
6	Literaturverzeichnis.....	6

## **1 Einleitung**

Die schnelle Senkung der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) im Verkehrssektor ist eines der Hauptziele der Klima- und Energiepolitik der Europäischen Union. Eine Maßnahme, auf die sich die EU-Gesetzgeber im Januar 2024 einigten, war die Senkung von CO<sub>2</sub>-Emissionen für schwere Nutzfahrzeuge um 45 % ab 2030, 65 % ab 2035 und um 90 % ab 2040 gegenüber 2019 [1]. Dies ist auch deshalb notwendig geworden, da der Schwerlastverkehr in den letzten Jahrzehnten europaweit zugenommen hat, sodass derzeit über 25 % der europäischen Treibhausgasemissionen im Straßenverkehr durch schwere Nutzfahrzeuge verursacht werden [2]. Der Schwerlastverkehr hat damit einen erheblichen Einfluss auf Wohlstand, Klima und Gesundheit. Die Verwendung nachhaltiger Kraftstoffe - wie Biodiesel – ist eine Möglichkeit, auch in diesem Bereich die Treibhausgasemissionen radikal zu senken und die ehrgeizigen europäischen Klimaziele zu erreichen.

Biodiesel ist der bei weitem wichtigste Biokraftstoff in Europa mit Treibhausgaseinsparungen von bis zu über 90 % [3]. Neben dem Potenzial der THG-Reduktion kann der Einsatz von Biodiesel die Partikelmasse (PM) und unverbrannte Kohlenwasserstoffe im Abgas deutlich reduzieren, ist praktisch schwefelfrei und biologisch leicht abbaubar (Wassergefährdungsklasse 1 – WGK 1). Aufgrund seines hohen Flammpunktes wird er nicht als Gefahrgut eingestuft.

Der vorliegende Bericht und dessen Ergebnisse basieren auf den Erfahrungen beim Betrieb von modernen Omnibussen (Euro 6) verschiedener Hersteller mit reinem Biodiesel (B100, Fettsäuremethylester – FAME). Er soll den Akteuren der Transportbranche - einschließlich Regierungsvertretern, Beratern und Flotteneignern - einen Einblick geben, wie Busse mit einem höheren Anteil an erneuerbaren Energien betrieben werden können. Dabei soll das Potenzial von Biokraftstoffen und insbesondere von Biodiesel für die Energiewende innerhalb bestehender und zukünftiger Flotten und Fahrzeuge verdeutlicht werden. Durch den Einsatz von Biodiesel in diesen Anwendungen besteht bereits heute die Möglichkeit, einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz zu leisten und THG-Emissionen deutlich zu reduzieren.

Die Inhalte dieses Ergebnisberichts wurden mit größtmöglicher Sorgfalt zusammengestellt. Dennoch kann keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der bereitgestellten Inhalte übernommen werden. Die Nutzung der Inhalte dieses Berichts erfolgt auf eigene Gefahr.

## **2 Projekt B100-Busse**

Im Zentrum des Projekts, welches im Zeitraum von Oktober 2021 bis April 2024 in Zusammenarbeit mit der IOV Ilmenau GmbH durchgeführt wurde, stand die Untersuchung der Alterung des Motoröls von Omnibussen im B100 Betrieb. Ziel war die reale Beanspruchung des Motoröls nach vorgegebenem Motorölwechselintervall zu prüfen und zu eruieren, ob eine Verlängerung des Wechselintervalls aufgrund der Daten möglich wäre. Im Vergleich zum vorgegebenem Motorölwechselintervall von 30.000 km beim Einsatz von B100 liegen die Motorölwechselintervalle beim Einsatz von Dieselkraftstoff nach EN 590 (B7) mit 100.000 km deutlich höher.

## 2.1 Fahrzeuge

Zum Zeitpunkt der Durchführung des Projekts betrieb die IOV Ilmenau 38 Omnibusse mit B100. Davon wurden 30 Fahrzeuge im Projekt mindestens einmal, teilweise doppelt, ein Fahrzeug dreifach untersucht. Es wurden Busse der Firmen Daimler (1 Fahrzeug), IVECO (4 Fahrzeuge) und Volvo (25 Fahrzeuge) eingesetzt (Tabelle 1). Alle untersuchten Busse waren für den Einsatz mit B100 freigegeben und wurden in einem ähnlichen Fahrzyklus im Mischverkehr Stadt, Land und Autobahn betrieben.

**Tabelle 1: Übersicht über eingesetzte Fahrzeuge und der Menge an Motoröl.**

Fahrzeughersteller	Motortyp	Menge Motoröl im Fahrzeug
Volvo	B7	27 l
Volvo	B8	30 l
Volvo	B8R	24 l
Volvo	B8Re	30 l
Volvo	8900	26 l
IVECO	Keine Angabe	21 l
Daimler	Keine Angabe	30 l

## 2.2 Betriebsstoffe

Bei den zwei unterschiedlichen eingesetzten Motorölen handelt es sich je nach Fahrzeug um ein 10W40 oder ein 5W30. Der Tabelle 2 können einige ausgewählte Parameter der eingesetzten Motoröle entnommen werden. Die Menge an eingesetzten Motorölen in den Fahrzeugen ist Tabelle 1 zu entnehmen. Den Motorölen wurden im Projekt keine zusätzlichen Additive hinzugefügt.

**Tabelle 2: Übersicht über ausgewählte Parameter der eingesetzten Motoröle.**

Parameter	Einheit	Frischöl 10W40	Frischöl 5W30
Eisen	mg/kg	1	2
Aluminium	mg/kg	0	0
Kupfer	mg/kg	0	0
Natrium	mg/kg	0	0
Kalium	mg/kg	0	1
Dieselmotorengehalt	% (m/m)	<0,30	<0,30
FAME-Gehalt	% (m/m)	<0,30	<0,30
Viskosität bei 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	97,98	70,53
Viskositätsindex	-	153	169
Basenzahl BN	mgKOH/g	10,07	12,94

Als Biodiesel wurde ein reiner Rapsmethylester (RME) eingesetzt, der den Spezifikationen der EN 14214 entsprach und keine weiteren speziellen Anforderungen erfüllte (Anlage 1).

## 2.3 Probenahme und Analysen

Die Probenahme der genutzten Motoröle wurde durch die Werkstatt der IOV Ilmenau GmbH beim obligatorischen Motorölwechsel nach etwa 30.000 km Laufleistung durchgeführt. Dabei wurde das Motoröl vollständig aufgefangen und anschließend eine Probe entnommen. So sollte sichergestellt werden, dass eine repräsentative Probenahme erfolgt. Die Probe wurde anschließend von der Firma OELCHECK untersucht. Ein beispielhaftes Analysenzertifikat ist als Anlage 2 angefügt.

## 3 Ergebnisse

Alle mit B100 betriebenen Omnibusse zeigten während des Projekts keinerlei Auffälligkeiten und waren zu jeder Zeit einsatzbereit. Wiederholungsmessungen am gleichen Fahrzeug zeigen, dass die erhaltenen Ergebnisse reproduzierbar sind und damit direkt miteinander verglichen werden können.

In den folgenden Abschnitten werden Auffälligkeiten bei der Analyse des Motoröls diskutiert. Als Auffälligkeit werden Alkalimetallgehalte zwischen 25 und 45 mg/kg gewertet. Dieser Gehalt wird für den Betrieb der Fahrzeuge zwar als unkritisch eingestuft, ist jedoch trotzdem als Erhöhung hervorzuheben. Alkalimetallgehalte über 45 mg/kg werden als kritisch eingestuft, ein Motorölwechsel wird dann empfohlen. Neben den Metallgehalten werden die Motorölverdünnung durch den Eintrag von Biodiesel, starke Änderungen der Viskosität sowie die Basenzahl als kritische Parameter in die Diskussion einbezogen.

### 3.1 Motorölverdünnung

Eine der wichtigsten Parameter beim Betrieb von Dieselfahrzeugen mit Biodiesel ist eine mögliche Motorölverdünnung. Diese tritt auf, wenn Dieseldieselkraftstoff durch späte Nacheinspritzungen, welche zur Reinigung des Dieselpartikelfilters genutzt werden, eingetragen wird. Wenn der Kraftstoff anschließend nicht verdampft, lässt die Schmierwirkung des Motoröls immer weiter nach. Die Motorölverdünnung kann beim Einsatz von Biodiesel größer sein als bei fossilem Dieseldieselkraftstoff, da Biodiesel erst bei wesentlich höheren Temperaturen aus dem Motoröl verdampft. In der Vergangenheit war dies insbesondere aus dem Kurzstreckenbetrieb bekannt.

Die Untersuchungen an den Omnibussen, die alle im Zyklus Stadt, Land und Autobahn betrieben wurden, zeigen einen durchschnittlichen und unkritischen Biodieselgehalt von im Mittel 1,0 %, bei einem maximalen Gehalt von 1,8 %. Einzige Ausnahme stellt der B7-Motor dar, der sich mit Gehalten von 6,6 % bis 12,3 % Biodiesel anfällig gegenüber Motorölverdünnung zeigt. Aufgrund der Verdünnung mit Kraftstoff ist die Viskosität des Schmieröls von 98 mm<sup>2</sup>/s auf im Mittel 71 mm<sup>2</sup>/s deutlich gefallen. Dies führt nicht zu Problemen, für einen Betrieb der Fahrzeuge mit diesem Motor ist ein verkürztes Motorölwechselintervall jedoch erforderlich. Alle anderen Motorentypen sind hinsichtlich der Motorölverdünnung als unkritisch einzustufen, weshalb ein Betrieb mit B100 über das verkürzte Motorölwechselintervall von 30.000 km hinaus, aus Sicht der Motorölverdünnung möglich ist.

### 3.2 Metallbelastung

Bei der Herstellung von Biodiesel werden üblicherweise Alkalimetallkatalysatoren eingesetzt. Außerdem schließt sich eine Wasserwäsche an den Produktionsprozess an. Aus diesen Gründen sind nach der Spezifikationsnorm DIN EN 14214 die Metalle Natrium und Kalium sowie Calcium und Magnesium im Biodiesel auf aktuell maximal 5 mg/kg begrenzt. Ein Kontakt von B100 mit dem Motoröl vermag zu erhöhten Alkalimetallgehalten führen. Diese könnten sich durch die Bildung von Salzen oder Seifen nachteilig auf das Motoröl bzw. die Motortechnik auswirken. Komponenten mit Calcium und Magnesium werden üblicherweise bereits bei der Additivierung des Schmieröls eingesetzt und spielen deshalb in der Gefahrenbewertung der Analyseergebnisse nur eine untergeordnete Rolle. Neben den Alkalimetallen sind Aluminium und Eisengehalte Indizien für einen möglichen Verschleiß im Motor. Dieser ist nicht durch den Einsatz von Biodiesel bedingt und lässt unter anderem meist Rückschlüsse auf das Alter des Fahrzeuges zu.

Im Projekt konnte in fünf Fällen ein leicht erhöhter Natriumgehalt zwischen 26 und 37 mg/kg gefunden werden, der für den Betrieb der Fahrzeuge als unkritisch eingestuft wurde. Da motorbaugleiche Fahrzeuge auch niedrigere Natriumgehalte aufwiesen, und der Biodiesel-Anteil im Motoröl dieser Fahrzeuge zwischen 0,3 % bis maximal 1,8 % schwankte, können die gefundenen Metallgehalte nicht vollständig auf den eingesetzten Biodiesel zurückgeführt werden. Die Fahrzeuge mit hohen Biodieselgehalten (siehe 3.1) zeigten keine erhöhten Alkalimetallgehalte. Erhöhte Natriumgehalte gingen üblicherweise auch mit erhöhten Eisengehalten von mindestens 24 mg/kg einher.

In zwei Fällen konnten kritische Konzentrationen an Aluminium (45 mg/kg und 64 mg/kg) gefunden werden. In beiden Fällen war der Eisengehalt mit 31 mg/kg und 39 mg/kg ebenfalls erhöht. Bei einem Fahrzeug wurde ein Eisengehalt von 109 mg/kg gefunden. Für alle oben genannten Auffälligkeiten ist ein Verschleiß am Motorsystem eine Erklärung für die erhöhten Metallgehalte.

Bei einem Fahrzeug wurden mit 108 mg/kg Natrium und 45 mg/kg Kalium Alkalimetallgehalte gefunden, die als kritisch eingestuft werden. Gleichzeitig wurde ein Biodieselgehalt von <0,3 % ermittelt, sodass eine Kontamination durch den Einsatz des Biodiesels nicht ersichtlich ist. Für die Produktion des im Projekt eingesetzten Biodiesels wurden ausschließlich natriumhaltige Katalysatoren eingesetzt. Ein Eintrittspfad für etwaige Kontaminationen mit Kalium wie bspw. ein Kühlmiteleintritt oder eine Anreicherung im Motorölsumpf konnten im Projekt nicht ermittelt werden.

Im Projekt wurden vier Omnibusse neu in Dienst gestellt und untersucht. In allen Fällen ist ein erhöhter Kupfergehalt gefunden worden. Kupfer ist in Zahnrädern, Haupt-, Pleuel- und Wälzlagern sowie anderen Bauteilen vorhanden. Bei Gehalten von 68 bis 311 mg/kg ist dieser als durchaus kritisch einzustufen, da Kupferionen Alterungsreaktionen beschleunigen können. In allen Fällen mit Kupferkontamination ist die Viskosität von 98 mm<sup>2</sup>/s auf 72 mm<sup>2</sup>/s gefallen und hat damit die ursprüngliche Viskositätsklasse 10W-40 verlassen. Eine direkte Korrelation zwischen Kupfergehalt und Abfall der Viskosität konnte nicht festgestellt werden. Wenn Kupfer zusammen mit Kalium, Natrium und Glykol gefunden wird, stammt es wahrscheinlich aus dem Ölkühler, ein Zusammenbefund mit Eisen und Zinn deutet auf einen Eintrag aus Lager

oder Buchsen hin. Die aktuellen Befunde weisen deshalb eher auf einen Befund mit dem Kühlkreislauf hin, dies kann aber abschließend nicht bestätigt werden.[4] Erhöhte Kupfergehalte bei Neufahrzeugen sind auch bei Dieselkraftstoffen ohne FAME-Anteil bekannt. [5] Daraus lässt sich schließen, dass beim Einfahren von Neufahrzeugen ein verkürztes Motorölwechselintervall erforderlich ist und die erhöhten Kupfergehalte kein Resultat aus dem FAME-Betrieb sind.

Anhand der Ergebnisse ist ein Betrieb mit B100 über das verkürzte Motorölwechselintervall von 30.000 km hinsichtlich der Alkali- und Erdalkalimetalle für alle Motoren, außer in Neufahrzeugen, möglich.

### **3.3 Basenzahl**

Als Basenzahl wird die sogenannte alkalische Reserve eines Motoröls bezeichnet, die dazu dient schädliche Säuren, die während der Kraftstoffverbrennung im Motor entstehen, zu neutralisieren. Sie nimmt im Lauf der Zeit ab. Ausgehend von einer Basenzahl des Frischöls von mindestens 10,07 mgKOH/g wird eine Basenzahl unter 5,00 mgKOH/g als kritisch eingestuft. Eine niedrigere Basenzahl konnte in keinem Fall gefunden werden, allerdings fiel diese in 6 Fällen deutlich unter 8,00 mg/kg und ging immer mit weiteren Auffälligkeiten wie einem erhöhten FAME-Gehalt, einer erhöhten Kupferkonzentration und einmal einem erhöhten Eisengehalt einher.

### **3.4 Unauffällige Parameter**

Weitere untersuchte Parameter wie die Gehalte von Zinn, Blei und Mangan, der PQ-Index, der Wassergehalt, die Oxidation und Sulfation sowie das Schmutztragevermögen sind in allen Untersuchungen als unauffällig zu bewerten.

## **4 Zusammenfassung und Ausblick**

Im Projekt wurde das Motoröl von insgesamt 30 Omnibussen beim Betrieb mit reinem Biodiesel (B100) untersucht. Es traten keine Betriebsprobleme auf und die Mehrheit der Motoröle hätte deutlich über das verkürzte Motorölwechselintervall von 30.000 km hinaus betrieben werden können. Für ein verkürztes Motorölwechselintervall konnten drei Hauptgründe identifiziert werden:

- 1) Metallgehalte von Natrium, Eisen oder Aluminium, deren Eintrag nicht auf B100 zurückgeführt werden konnte.
- 2) Das Einfahren neuer Motoren und den dadurch deutlich erhöhten Kupfergehalten, die nicht auf den Betrieb mit B100 zurückzuführen sind.
- 3) Eine Motorölverdünnung durch den Eintrag von Biodiesel bei einem speziellen Motorenmodell, die zu niedrigen Viskositäten und Basenzahlen führte.

Insgesamt wurde der Austausch des Motoröls bei den vorgegebenen verkürzten Wechselintervallen von 30.000 km bei 12 der 35 Proben empfohlen. Jedoch sind nur vier dieser auffälligen Proben auf den Betrieb mit B100 zurückzuführen und betrafen ausschließlich ein einziges Motorenmodell. Alle anderen Motoren können anhand der erhobenen Daten auch

beim Einsatz von B100 prinzipiell mit einem längeren Motorölwechselintervall betrieben werden.

Zukünftig sollen unauffällige Fahrzeuge unter kontinuierlicher Kontrolle und Begleitung bei späteren Motorölwechselintervallen (40.000 km, 50.000 km, 60.000 km und weitere) geprüft werden. Ziel ist es zu prüfen, ob eine Verlängerung der Motorölwechselintervalle möglich und sinnvoll ist, um häufigere Stillstandzeiten der Fahrzeuge und unnötige Ölwechsel zu vermeiden.

## **5 Danksagung**

Ein besonderer Dank gilt der IOV Ilmenau GmbH, ohne die diese Arbeit nicht hätte entstehen können. Weiterer Dank gilt der Firma OELCHECK für die Durchführung der Ölanalysen und die weitere Informationsbereitschaft sowie den Mitgliedern des Technischen Ausschusses der AGQM, die das Projekt begleitet haben.

## **6 Literaturverzeichnis**

- [1] Einigung des Europäischen Parlaments und Rat der Europäischen Union, Pressemitteilung 19. Januar. Annahme am 14.05.2024. Verordnung noch nicht veröffentlicht.
- [2] Statistisches Bundesamt (Destatis), Stand 31.05.2023, Quelle Eurostat Datenbank.
- [3] Evaluations- und Erfahrungsbericht für das Jahr 2022, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Januar 2024.
- [4] C. A Palacio et al., Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, 104, 9-19, 2022.
- [5] Fitch, Jim; Practicing Oil Analysis; Copper and your diesel engine oils, 2-3, 2004.