

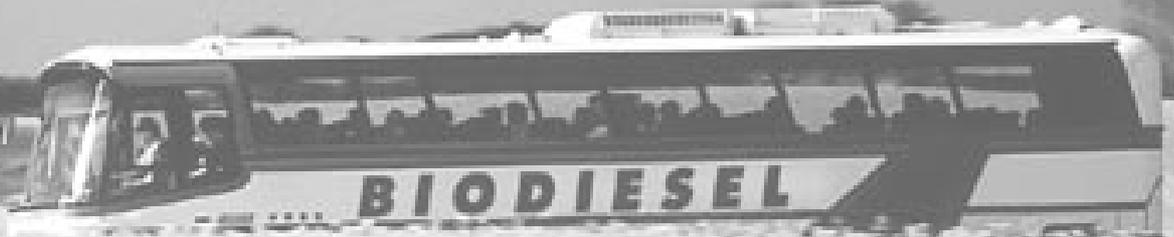


UNION ZUR FÖRDERUNG VON OEL- UND PROTEINPFLANZEN E.V.

## *Erfahrungsbericht*

# *"Biodiesel in Linienomnibussen"*

*Erfahrungen der Kreiswerke Heinsberg GmbH  
und der Stadtwerke Neuwied*



## *Biodiesel in Linienomnibussen Erfahrungen der Kreiswerke Heinsberg GmbH*

*KWH verbindet*



Kreiswerke Heinsberg GmbH

# V Vorwort

---

Die Kreiswerke Heinsberg GmbH (KWH) betreiben die öffentliche Elektrizitätsversorgung im größten Teil des Kreises Heinsberg und einen öffentlichen Personennahverkehr im gesamten Kreisgebiet.

Als kommunales Unternehmen fühlen sich die KWH dem Umweltschutz auf beiden Tätigkeitsfeldern besonders verpflichtet, ohne jedoch - in Zeiten verstärkten Wettbewerbs - betriebswirtschaftliche Aspekte außer acht zu lassen.

Der umweltfreundliche Einsatz von Biodiesel war gegenüber einer Umstellung des Fuhrparks auf Erdgas oder einer Umrüstung der Betriebsausstattung aufgrund berufsgenossenschaftlicher Auflagen auch die wirtschaftlichere Alternative.

Der erfolgreiche Probetrieb an mehr als 30 Omnibussen, der letztlich diese Entscheidung rechtfertigte, fand unter wissenschaftlicher Begleitung sowie in enger Kooperation mit Fahrzeugherstellern, Motorenöl- und Biodiesel-Lieferanten statt. Diesen Institutionen und Unternehmen sei für ihr Interesse und ihre Unterstützung besonders gedankt.

Dr.-Ing. Peter Grünberg  
Sprecher der Geschäftsführung  
der Kreiswerke Heinsberg GmbH

# *I* **Inhalt**

## *Seite*

### *Inhaltsverzeichnis*

Kurzfassung/Abstract	4
Unser Klima und nachwachsende Rohstoffe	5
Die Situation im Kreis Heinsberg	6
BIODIESEL – Kraftstoff der Zukunft	8
Das Projekt	10
Ergebnisse aus dem Fahrbetrieb	12
Abschlussbeurteilung und Ausblick	15
Literatur	16
Anschriften der Autoren	16

# K

## Kurzfassung

Die Kreiswerke Heinsberg GmbH ist das erste Unternehmen des öffentlichen Personennahverkehrs in Deutschland, das seinen gesamten Fahrzeugpark von 130 Bussen mit BIODIESEL als Kraftstoff betreibt. Die Entscheidung fiel aus ökologischen und wirtschaftlichen Gründen, aber auch aus Verantwortung für den ländlichen Raum. BIODIESEL, hergestellt aus Pflanzenöl, kann in den vorhandenen und neu angeschafften Bussen problemlos eingesetzt werden. Als nachwachsender Kraftstoff schont er die fossilen Energievorräte und reduziert den Ausstoß von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Die Abgasemissionen werden durch den schwefelfreien BIODIESEL drastisch gesenkt, vor allem mit modernen Oxidationskatalysatoren. Der 2-jährige BIODIESEL-Betrieb zeigt, dass ein zuverlässiger Fahrbetrieb gewährleistet ist und der Umgang mit dem ungefährlichen und ungiftigen Kraftstoff vorteilhaft ist. Erfreulich ist die durchweg positive Resonanz der Fahrgäste.

### **Abstract**

Kreiswerke Heinsberg GmbH being the first German company in the local public transport sector who operates its complete fleet of 130 busses with BIODIESEL as fuel. The decision was taken due to economic and ecological reasons as well as the responsibility for the rural area. BIODIESEL produced from vegetable oil can be used in the existing and new busses without any problems. The renewable fuel saves fossil energy resources and reduces the output of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). The exhaust gas emissions from engines are reduced drastically by the sulphur-free BIODIESEL, primarily with modern oxygenic catalyts. Field test with busses for two years

proved that the operating with BIODIESEL turned out to be reliable and the handling of the harmless and non toxic fuel is advantageous. Positive reactions of the passengers were throughout observed.

## ***Unser Klima und nachwachsende Rohstoffe***

Fossile Rohstoffe bilden heute die Grundlage für wirtschaftliche Entwicklungen und Wohlstand. Allerdings für den Preis der zunehmenden Emission von Kohlendioxid - CO<sub>2</sub> - in die Atmosphäre beim Verbrennen von Kohle, Erdgas oder Erdöl. Dadurch wird die Wärmedämmung der Erde gegen den Weltraum verstärkt, so dass die Temperaturen auf der Erdoberfläche ansteigen. Fossile Energievorräte, die unseren heutigen Energiebedarf weltweit noch zu ca. 84 % decken, werden sich unweigerlich verknappen.

Im Bewusstsein dieser Zusammenhänge rücken Bemühungen zur Nutzung von nachwachsenden Energien, wie z. B. Pflanzenölkraftstoffe, verstärkt in den Vordergrund. Bereits Rudolf Diesel, der seinen neuen Motor auf der Pariser Weltausstellung im Jahre 1900 mit Erdnussöl vorstellte, mahnte 1912 die Begrenztheit von "Petroleum und diesen Kohle-Teer-Produkten" an.

Angepasst an die motorischen Anforderungen steht heute mit BIODIESEL, der aus Pflanzenöl hergestellt wird, ein Kraftstoff zur Verfügung, der mit der bestehenden Dieselmotor-Technologie praktisch und wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Erzeugt aus Raps, der auf Agrarflächen angebaut wird, die nicht mehr zur Nahrungsmittelproduktion notwendig sind und deshalb stillzulegen wären, kann dadurch wertvolles Ackerland erhalten werden und Arbeitsplätze in der Landwirtschaft und der nachgelagerten Industrie gesichert bzw. geschaffen werden.

BIODIESEL wird über Mineralöl-Handelsunternehmen, landwirtschaftliche Genossenschaften und über den Landhandel bundesweit geliefert. Über 900 Tankstellen stehen auch Privatkunden zur Verfügung. Besonders der Einsatz von BIODIESEL in umweltsensiblen Bereichen, im öffentlichen Verkehrswesen und in kommunalen Fahrzeugflotten, Speditionen etc. trägt zum Boden- und

Gewässerschutz und zur Emissionsminderung in Städten und Ballungsgebieten bei.

## Die Situation im Kreis Heinsberg

Die Kreiswerke Heinsberg GmbH ist das öffentliche Verkehrsunternehmen des westlichsten Kreises Deutschlands angrenzend an die Niederlande. Mit 130 eigenen Omnibussen gewährleistet es eine flächendeckende, moderne und zuverlässige Verkehrsinfrastruktur für rund eine halbe Million Menschen in einer mehr als 1.000 km<sup>2</sup> großen ländlichen Region.

Orientiert an den Bedürfnissen der wichtigen Kundengruppen, existieren schnelle und komfortable Verbindungen zwischen den Städten und Gemeinden des Kreises, aber auch zu den Nachbarkreisen und Nachbarstädten. Neben Linien- und Berufsverkehr stellt der Schülerverkehr die wichtigste Säule des Verkehrskonzeptes der Kreiswerke Heinsberg dar.

Mobilität außerhalb des Individualverkehrs zu wirtschaftlichen und umweltschonenden Bedingungen wird als Beitrag zur Zukunftsgestaltung des Kreises verstanden.

Unter dieser Zielstellung beschäftigen sich die Kreiswerke Heinsberg seit längerem mit dem Einsatz von Alternativen zum herkömmlichen Dieselkraftstoff.

Bei der Suche nach alternativen umweltfreundlichen Antriebskonzepten wurde zunächst der Einsatz von Erdgas untersucht, was sich jedoch aufgrund der hohen Investitionen für Fahrzeuganschaffung, Tankanlagen und betriebliche Umbauten als nicht wirtschaftlich erwies. Auch unter Umweltsichtspunkten ist Erdgas als fossile Energiequelle keine echte Alternative.

Voruntersuchungen zum Einsatz von BIODIESEL dagegen zeigten, dass dieser nachwachsende Kraftstoff im vorhandenen Fahrzeugpark einsetzbar und die notwendigen Fahrzeuganpassungen gering sind. Andererseits ließen die umweltfreundlichen Stoff- und Betriebseigenschaften günstigere Abgasemissionen und Arbeitsbedingungen im Service- und Werkstattbereich erwarten. (Abb. 1)

Die Entscheidung für den Einsatz von BIODIESEL fiel aus ökologischen und wirtschaftlichen Gründen, aber auch aus Verantwortung für den ländlichen Raum.

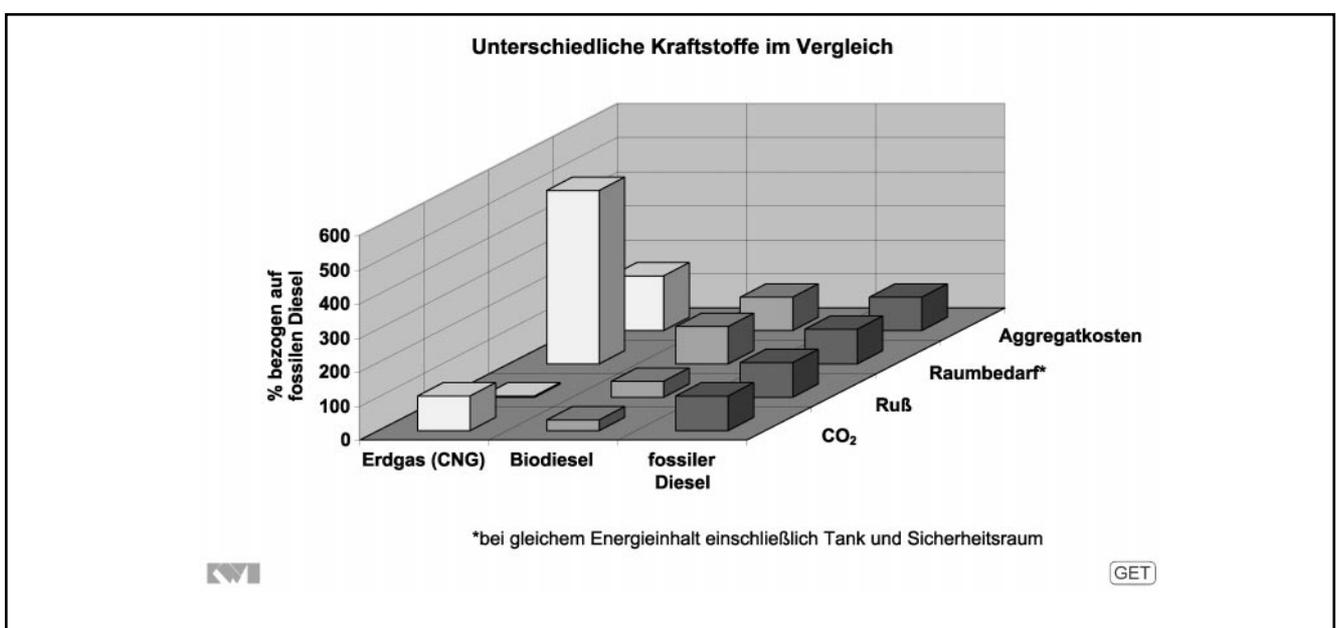


Abbildung 1: Unterschiedliche Kraftstoffe im Vergleich

Die Kreiswerke Heinsberg benötigen derzeit für den Betrieb ihrer Fahrzeuge jährlich rund 2 Millionen Liter Diesel. Der Rohstoff für die entsprechende Menge BIODIESEL wächst auf einer Rapsanbaufläche von ca. 1.500 Hektar, wodurch etwa 40 Arbeitsplätze in der Landwirtschaft und weitere 10 in der weiterverarbeitenden Industrie gesichert werden.

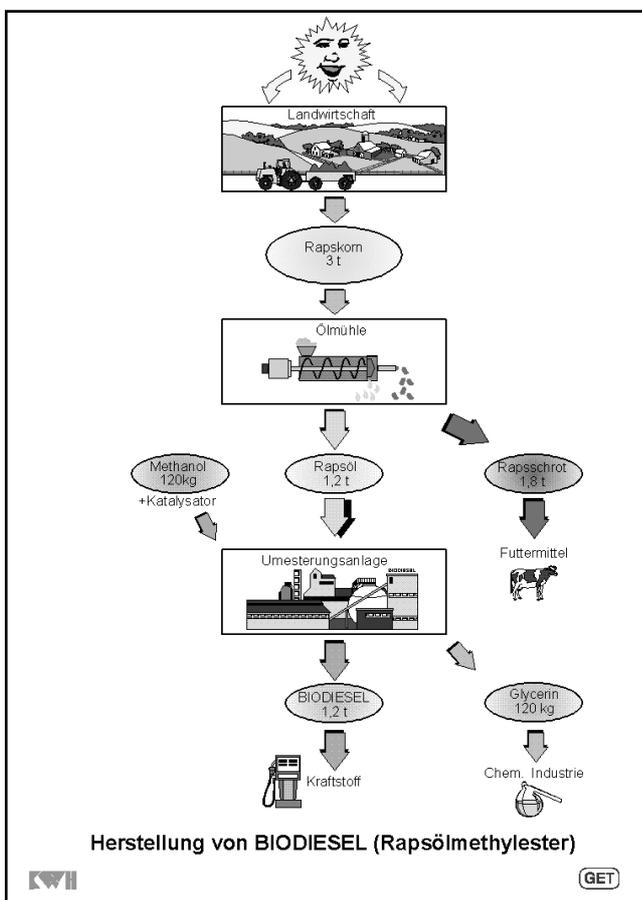
Aus wirtschaftlichen Gründen ist der BIODIESEL-Einsatz vor allem dadurch sinnvoll, dass nur etwa ein Zehntel der Mehrkosten eines erdgasbetriebenen Busses, verglichen mit einem herkömmlichen Bus, für Umrüstungen aufzuwenden waren, wovon etwa 90 % auf das moderne Abgasreinigungssystem mit Oxidationskatalysator entfielen, was bei normalem Dieselbetrieb heute in Nutzfahrzeugen noch nicht eingesetzt werden kann. Außerdem lassen sich praktisch alle vorhandenen Betankungs- und Werkstatteinrichtungen weiternutzen.

Die größte Einsparung bei der Kreiswerke Heinsberg GmbH schlug mit ca. 500.000 DM zu Buche, durch nicht mehr erforderliche Investitionen für aufwändige Abgas-Absaugereinrichtungen an Durchfahrt-Waschanlagen und versiegelte Auffangtassen an Außentankstellen in zwei Betriebshöfen.

Durch Messungen der Berufsgenossenschaft konnte eine wesentlich geringere Abgasemission in den Wasch- und Pflegebereichen bei BIODIESEL-Betrieb nachgewiesen werden, und die kaum vorhandene Wassergefährdung vereinfacht Lagerung und Handhabung.

## BIODIESEL – Kraftstoff der Zukunft

Als Rohstoff für BIODIESEL stellt sich unter europäischen Verhältnissen Raps als die geeignetste Pflanze mit einem Ölgehalt von 40 bis 45 % dar. In der Ölmühle wird aus der Rapssaat Öl gewonnen, der Rückstand geht als Rapsschrot zu Weltmarktpreisen in die Futtermittelindustrie (Abb. 2). Öl- und Fettmoleküle sind vom Aufbau her stets Fettsäure-Ester, d. h. drei unterschiedlich lange Fettsäure-Ketten sind mit je einem Glycerin-Molekül verbunden.



**Abbildung 2:** Herstellung von BIODIESEL (Rapsölmethylester RME)

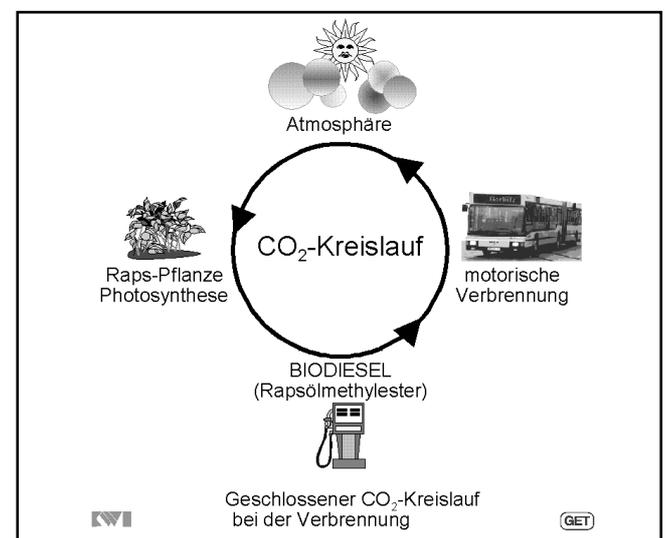
In der Umesterungsanlage tauschen während einer einfachen chemischen Reaktion zwischen Rapsöl und Methanol in Gegenwart eines Katalysators Glycerin und

Methanol den Platz, und es entstehen drei einzelne Fettsäuremethylester-Moleküle und ein Glycerin-Molekül /1/. Die Moleküle dieses Fettsäuremethylesters ähneln in ihrer Form dem Cetan. Viele Motorenfachleute halten BIODIESEL für den besten verfügbaren Kraftstoff für Selbstzündermotoren /2/.

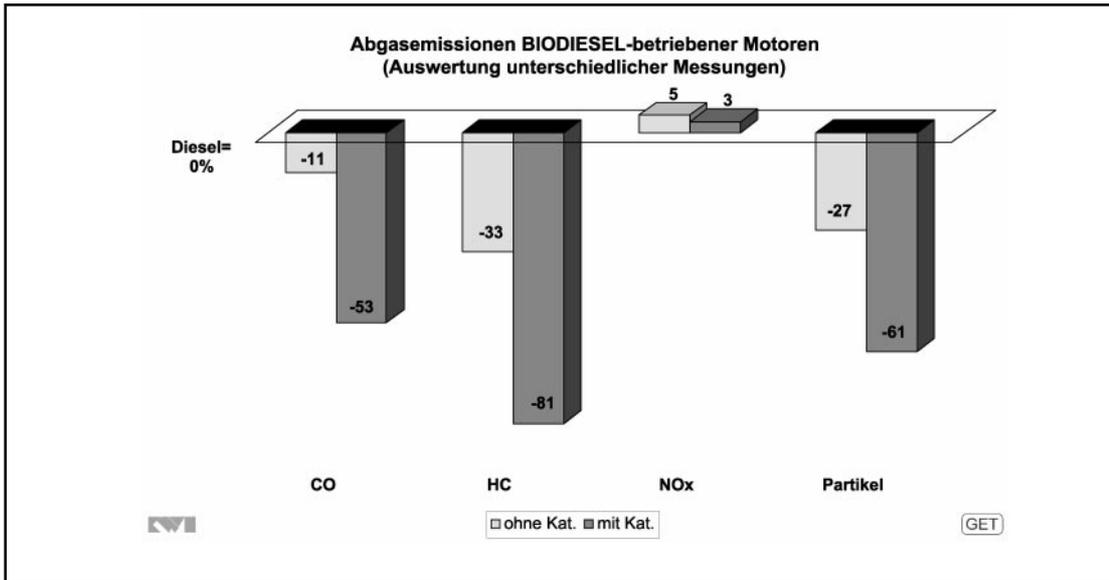
Daneben entsteht Glycerin, eine seit altersher bekannte Substanz, die außerordentlich vielseitig einsetzbar ist, z. B. in der Pharma-, Kunststoff-, Lack- und Kosmetikindustrie.

BIODIESEL hat gegenüber dem herkömmlichen fossilen Dieselmotorkraftstoff entscheidende Vorteile:

- praktisch schwefelfrei,
- geschlossener CO<sub>2</sub>-Kreislauf bei der Verbrennung,
- kein Gehalt an Benzol und anderen Aromaten,
- nicht giftig und biologisch leicht abbaubar,
- kein Gefahrgut und nicht feuergefährlich,
- drastische Reduzierung der Abgasemissionen - besonders in Verbindung mit Oxidationskatalysatoren



**Abbildung 3:** Geschlossener CO<sub>2</sub>-Kreislauf bei der Verbrennung von BIODIESEL



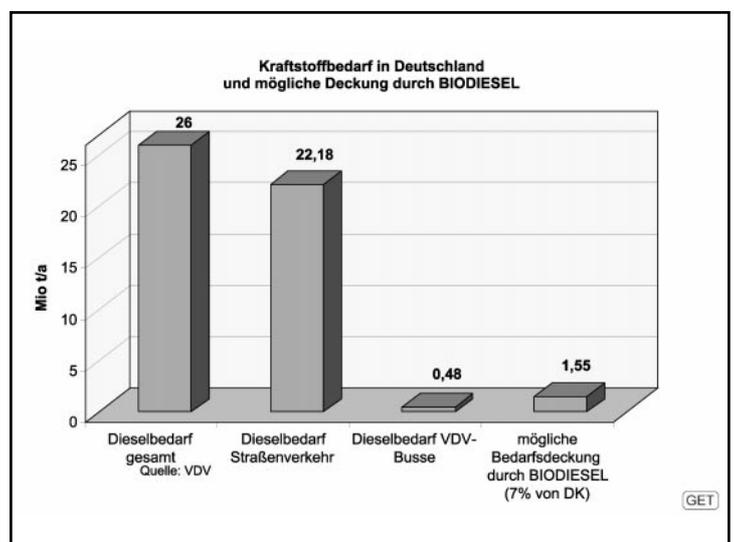
**Abbildung 4:** Abgasemissionen BIODIESEL-betriebener Motoren (Auswertung unterschiedlicher Messungen)

In detaillierten wissenschaftlichen Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass zur Herstellung von BIODIESEL unter Einbeziehung aller Vorketten nur 40 % der fossilen Energie benötigt wird, die für herkömmlichen Dieseldieselkraftstoff verbraucht wird. Die restlichen 60 % sind eingefangene Sonnenenergie. Die Emission klimaschädlicher Gase wird um ca. 70 % reduziert. Für jeden durch BIODIESEL ersetzten Liter Kraftstoff wird die Klimabilanz um 3,2 kg CO<sub>2</sub> entlastet, bezogen auf den Verbrauch der Kreiswerke Heinsberg bedeutet dies eine jährliche Entlastung von 6.400 t CO<sub>2</sub> /3/.

BIODIESEL ist ein nachwachsender Rohstoff und kann realistisch 5 - 7 % des deutschen Dieserverbrauchs substituieren (Abb. 5). Die bekannten technischen Produktionskapazitäten für BIODIESEL liegen in Europa schätzungsweise bei ca. 1,6 Mio. t.

Obwohl mengenmäßig durch die Anbauflächen begrenzt, ist BIODIESEL zukunftsorientiert, da er einerseits ein Kraftstoff für die energiesparendste Wärmekraftmaschine — den Dieselmotor — ist, andererseits durch hohe

Zündwilligkeit und großen Sauerstoffgehalt zur weiteren Verbesserung des Dieserverfahrens beiträgt /2/. Damit ist BIODIESEL auch für zukünftige Antriebskonzepte für Busse, wie Radmotoren, Hybridantriebe etc. gut geeignet.



**Abbildung 5:** Kraftstoffbedarf in Deutschland und mögliche Deckung durch BIODIESEL

## Das Projekt

Ziel des Projektes ist es, die komplette Busflotte der Kreiswerke Heinsberg mit 130 Omnibussen auf BIODIESEL umzustellen. Als erster Schritt wurde in einem einjährigen Praxistest der Betriebshof Geilenkirchen mit 30 Fahrzeugen umgestellt.

### BIODIESEL-Flotte des 1. Projektjahres

Standard-Linienbusse	Standard-Gelenkbusse
2 MB O 405 EURO 0	1 MB O 405 G EURO I
2 MB O 407 EURO 0	1 MB O 405 G EURO I
11 MB O 405 EURO I	4 MAN SG 312 EURO I
9 MB O 405 EURO II	

Sowohl bei der Vorbereitung als auch während des praktischen Fahrbetriebes konnte eine enge Zusammenarbeit mit den Motoren- und Fahrzeugherstellern, dem Schmierölhersteller, der Berufsgenossenschaft, den Feuerwehren im Kreis sowie den innerbetrieblichen Gremien, wie Betriebsrat, Sicherheitsbeauftragten und Betriebsärztin erreicht werden.

Das Projekt fand große Zustimmung und Unterstützung seitens des Rheinischen Landwirtschaftsverbandes und der Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e. V. (UFOP). Sehr wichtig war die durchgehende ingenieurmäßige Betreuung durch GET — Gesellschaft für Entwicklungstechnologie mbH in Jülich, die sich bereits seit Mitte der 80er Jahre mit Pflanzenölkraftstoffen beschäftigt und das Umrüstprogramm für die Fahrzeuge und Tankanlagen erarbeitete, das Werkstattpersonal in Schulungen mit BIODIESEL vertraut machte und für das Projekt vorbereitete, das Analysenprogramm zur Überwachung der Schmierölqualität koordinierte und die Auswertung der Ergebnisse vornahm.

Die Umrüstung der Fahrzeuge beschränkte sich auf den Austausch kraftstoffführender Schläuche und Dichtungen, die durch BIODIESEL-resistente Materialien auszutauschen waren, was in der eigenen Betriebswerkstatt erfolgte. Alle Busse wurden mit Oxidationskatalysatoren ausgerüstet, um damit dank des schwefelfreien BIODIESELS mit moderner Abgasreinigungstechnik die bereits reduzierten Abgasemissionen nochmals drastisch zu senken. Dadurch verschwindet auch der Abgasgeruch von BIODIESEL fast völlig.

In regelmäßigen Abständen erfolgten Projektauswertungen mit den Beteiligten unter Einbeziehung der Werkstatt. Neben der Überwachung der BIODIESEL-Qualität nach DIN E 51 606 anhand von Lieferzertifikaten, Rückstellproben und Zwischenanalysen wurde das Motorenöl durch regelmäßige Analysen überwacht, da hier noch keine systematischen Langzeituntersuchungen im Praxiseinsatz vorlagen.

Um Fahrgäste, Öffentlichkeit und auch Fachkollegen anderer Verkehrsunternehmen mit dem Projekt und mit BIODIESEL bekannt zu machen, wurden Veranstaltungen wie die KWH-Verkehrs-Foren 1996 und 1998 durchgeführt; Pressekonferenzen und Projektinformationen ergänzten die Öffentlichkeitsarbeit.

## Ergebnisse aus dem Fahrbetrieb

Die durchweg positiven Betriebserfahrungen mit BIODIESEL führten sogar dazu, dass anfängliche Skeptiker heute zu leidenschaftlichen Befürwortern des neuen Kraftstoffs geworden sind. Die wichtigsten Ergebnisse sind:

- BIODIESEL nach DIN E 51 606 ist als Kraftstoff für Fahrzeuge des ÖPNV sehr gut geeignet.
- Die Schmieröluntersuchungen zeigten, dass zwar die Viskosität über die Laufleistung abnimmt, jedoch über das gesamte auch bei Diesel einzuhaltende Wechselintervall von ca. 60.000 km oder einem Betriebsjahr

im zulässigen Bereich bleibt (Abb. 6). Damit ist eine Halbierung der Ölwechselintervalle nicht erforderlich. Das Verschleißverhalten zeigte sogar bessere Werte als bei Dieselbetrieb.

- Im Vergleich zu den vorgeschriebenen Abgasuntersuchungen beim Betrieb mit herkömmlichen Diesel konnte eine drastische Verringerung der Emissionen bei BIODIESEL festgestellt werden (Abb. 7)

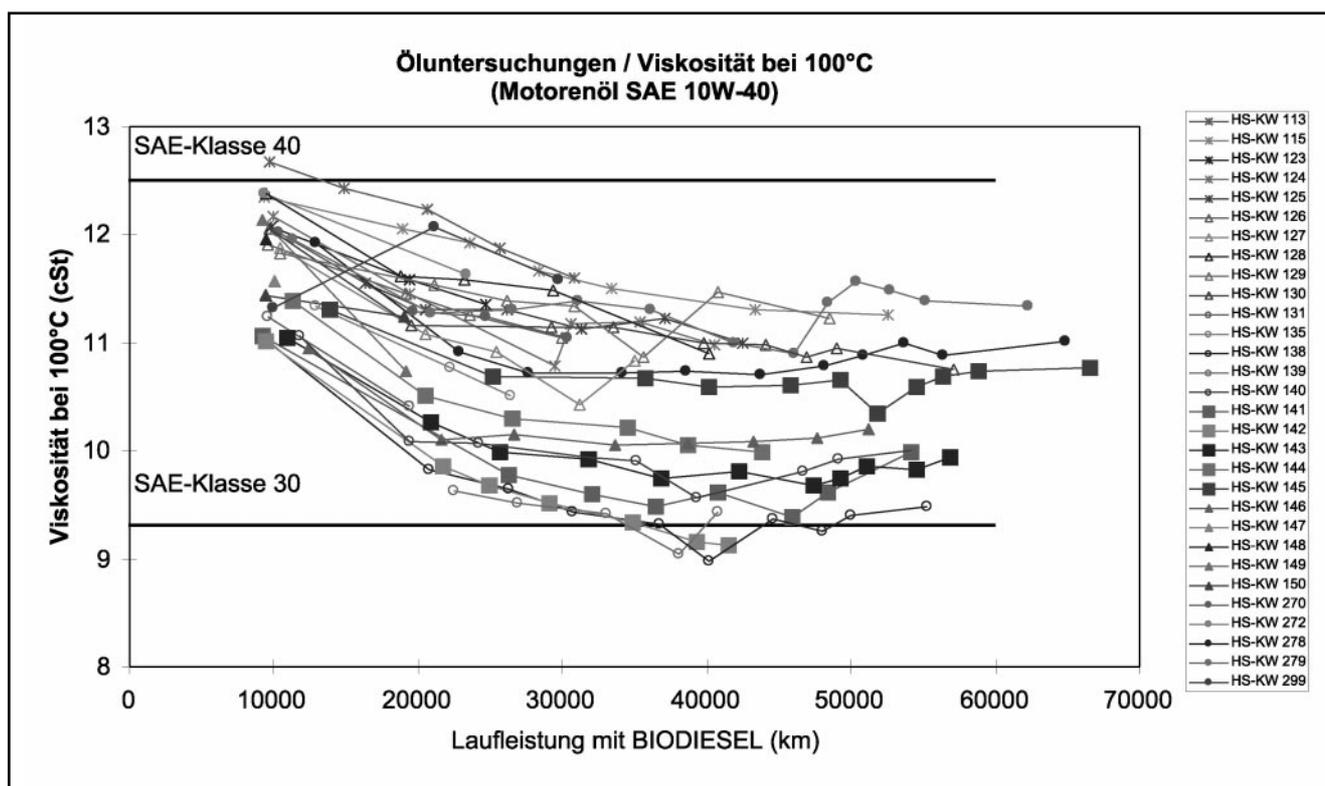
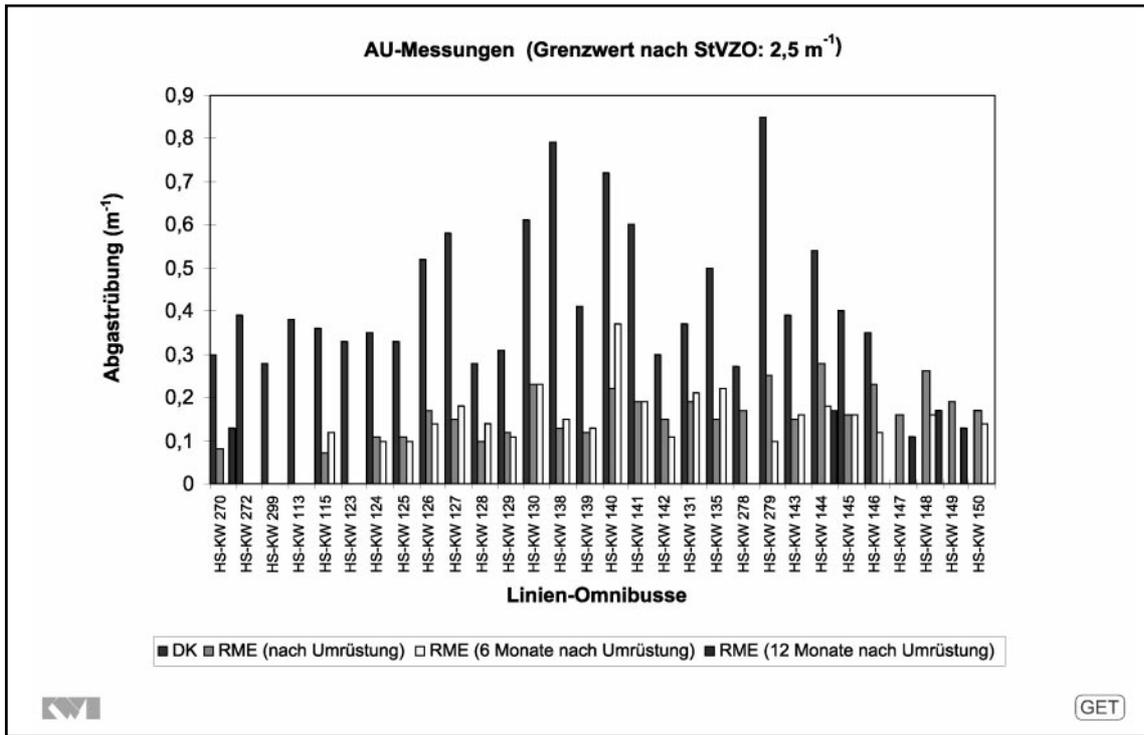
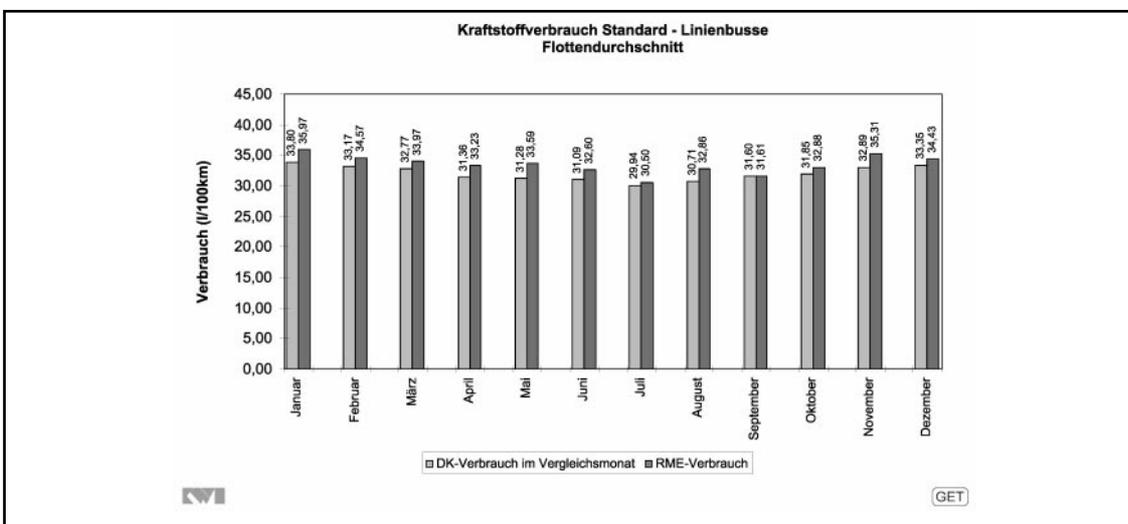


Abbildung 6: Öluntersuchung/Viskosität



- Im Wartungs- und Servicebereich wurde der Umgang mit dem ungefährlichen und ungiftigen Kraftstoff positiv bewertet.
  - Die Resonanz der Fahrgäste war durchweg positiv.
  - BIODIESEL führt nicht generell zu höheren Kraftstoffverbräuchen. Fahrzeugabhängig wurden sowohl niedri-
- gere als auch leicht höhere Verbräuche festgestellt (Abb. 8).
- Über den Projektzeitraum lagen die Preise für BIODIESEL im Durchschnitt 6,3 Pfg./l niedriger als bei Dieselmotoren (Abb. 9), was zu einer effektiven Kosteneinsparung bei BIODIESEL-Betrieb führte (Abb. 10).



**Abbildung 8:** Kraftstoffverbrauch Standard-Linienbusse

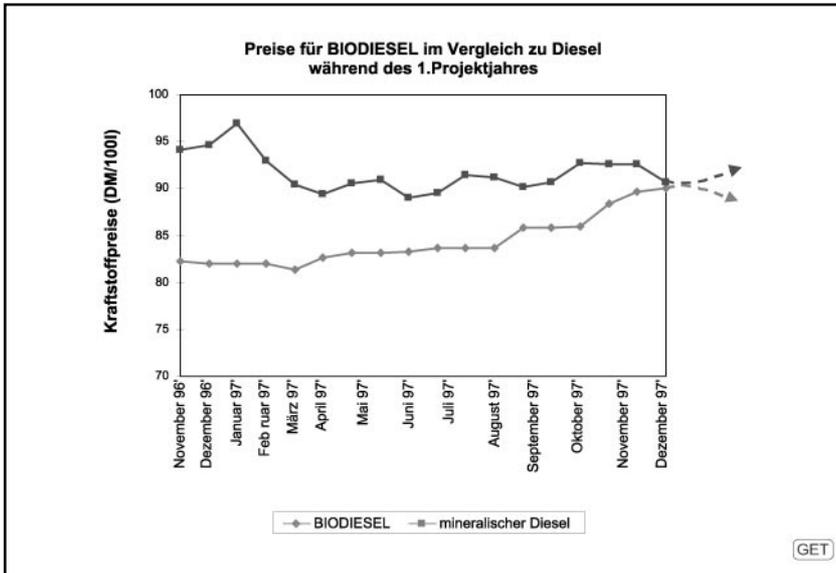


Abbildung 9: Preise für BIODIESEL im Vergleich zu Diesel während des ersten Projektjahres

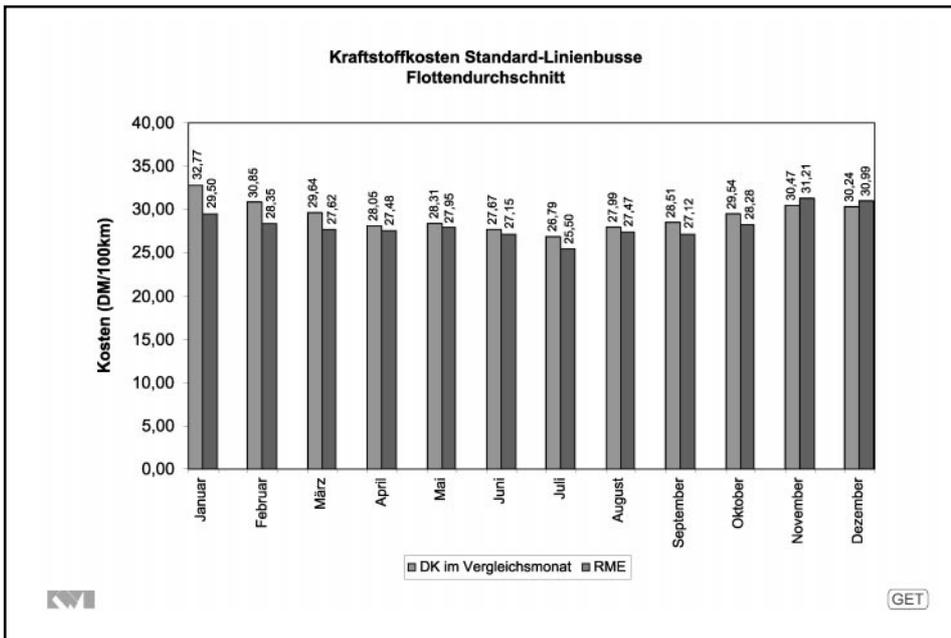


Abbildung 10: Kraftstoffkosten Standard-Linienbusse

## ***Abschlussbeurteilung und Ausblick***

Der erfolgreiche einjährige Betrieb der BIODIESEL-Busflotte des Betriebshofes Geilenkirchen der Kreiswerke Heinsberg und die durchgeführten Auswertungen mit den Fahrzeugherstellern, Zulieferern und dem Schmierölerhersteller bilden eine gut abgesicherte Grundlage für die positive Entscheidung zur Gesamtumstellung aller 130 Omnibusse.

Ausgehend vom positiven Ergebnis der ersten Projektphase, waren Ende 1998 fast 100 Fahrzeuge für den BIODIESEL-Betrieb umgerüstet und die Gesamtumstellung soll 1999 abgeschlossen werden.

Für die Kreiswerke Heinsberg ist der Einsatz von BIODIESEL aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen sinnvoll. Alle Neufahrzeuge werden nur noch mit BIODIESEL-Freigabe angeschafft, was im gesamten Verkehrsgebiet auch durch die neue Gestaltung der BIODIESEL-Busse sichtbar wird (Abb. 11).

Das Projekt soll auch dazu dienen, Erfahrungen des praktischen BIODIESEL-Betriebes weiterzugeben, um weiteren Unternehmen des ÖPNV den Einstieg in den umweltfreundlichen nachwachsenden Kraftstoff BIODIESEL zu erleichtern.



**Abbildung 11:** BIODIESEL-Bus im Praxiseinsatz

## **Literatur**

- /1/ K. Scharmer, F. Pudol, D. Ribarov (1994),  
Umwandlung von Pflanzenölen zu Methyl- und  
Ethylestern. Tagung des VDI-GET/CARMEN  
"Pflanzenöle als Kraftstoffe für Fahrzeugmotoren  
und Blockheizkraftwerke". Würzburg, 4./5. Juli  
1994
- /2/ O. Syassen (1996), Biodiesel - ein vernünftiger  
Kraftstoff? In: Technische Überwachung TÜ 37  
(1996)  
Nr. 1 / 2
- /3/ K. Scharmer, G. Golbs (1997), BIODIESEL Energie-  
und Umweltbilanz Rapsölmethylester. Broschüre  
der UFOP e. V. Bonn (Hrsg.), Juli 1997

## **Anschriften der Autoren:**

- Kreiswerke Heinsberg GmbH  
Verkehrsbetriebe  
Haihover Straße 19  
D-52511 Geilenkirchen  
Telefon: 0 24 51/6 24-7 00  
Telefax: 0 24 51/6 89 45  
E-mail: [verkehr@kreiswerke.de](mailto:verkehr@kreiswerke.de)
- GET - Gesellschaft für Entwicklungstechnologie mbH  
Industriepark Emil Mayrich  
D-52457 Aldenhoven  
Telefon: 0 24 64/5 81-0  
Telefax: 0 24 64/5 81-36  
E-mail: [GETmbH@t-online.de](mailto:GETmbH@t-online.de)



***Biodiesel in Bussen und Nutzfahrzeugen der  
Stadtwerke Neuwied, des Verkehrsbetriebes  
Rhein-Westerwald und des Abwasserbetriebes  
Stadt Neuwied***



# *I* **Inhalt**

---

## *Seite*

### *Inhaltsverzeichnis*

Veranlassung	20
Projektablauf	23
Busflotte	25
Vorbereitung der Fahrzeuge	26
Motorenöl	29
Kraftstoffverbrauch	30
Kosten	31
Abgasemissionen	32
Betriebserfahrungen	33
Empfehlung und Ausblick	34
Anhang	36

## Veranlassung

Als wirtschaftliche und umweltfreundliche Alternative zum Individualverkehr gewährleistet der Öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) in Deutschland zuverlässig und sicher die Personenbeförderung in Städten und ländlichen Gebieten und hat europaweit und weltweit einen guten Ruf. Eine sehr große Bedeutung hat er für den Schülerverkehr. Im ÖPNV auf Straße und Schiene wurden 1999 mehr als 91,1 Mrd. Personenkilometer geleistet. Der kontinuierliche Anstieg der Fahrgastzahlen um wiederum 1,4 % in 2000 auf 8,94 Milliarden Fahrgäste bei den Unternehmen des Verbandes Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) zeigt auch die steigende Kundenakzeptanz.

Neben Komfort, Zuverlässigkeit, Sicherheit, Schnelligkeit und Kostenreduzierung treten Umweltgesichtspunkte bei den Kundenwünschen zunehmend in den Vordergrund bei der Nutzung von Bussen und Bahnen. Mit seinen Bemühungen zur Reduzierung der Belastungen in den Ballungszentren leistet der ÖPNV einen nicht unwesentlichen Beitrag zu den Klimaschutzzielen der Bundesregierung.

Die Fahrzeuge des ÖPNV haben nur einen relativ geringen Anteil an der Verursachung von lokalen Emissionen. Trotzdem fühlen sich die Verkehrsunternehmen der weiteren Umweltverbesserung ihrer Verkehrssysteme verpflichtet, da saubere Luft als ein wertvolles Gut besonders in den Städten gefährdet ist. Die Stadtwerke Neuwied GmbH begannen bereits Mitte der 90er Jahre mit Überlegungen und Bemühungen, die Belastungen ihres Versorgungsgebietes durch Abgasemissionen ihrer Busse zu reduzieren. Es wurden Abgasnachbehandlungssysteme und der Einsatz von Erdgas geprüft. Wichtige Prämissen waren:

- Verfügbarkeit und Praxistauglichkeit
- Reduzierungspotenzial für lokale und globale Emissionen
- Investitions- und Betriebskosten
- Einsetzbarkeit in vorhandener Busflotte

Bereits 1995 erkundigte man sich nach den Erfahrungen in Würzburg mit BIODIESEL-Bussen, nahm Kontakt mit Taxibetrieben und zur Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. (UFOP) in Bonn auf.

Frühzeitig gab es Gespräche mit der Landesregierung, die großes Interesse an Bemühungen zur Nutzung alternativer Energien hatte. Nach Kontaktaufnahme mit der Kreiswerke Heinsberg GmbH - einem ÖPNV-Betrieb, der bereits 1995 begann seine gesamte Busflotte auf den Betrieb mit BIODIESEL (Rapsölmethylester) umzustellen - sowie weiteren Recherchen, fiel die Entscheidung zu Gunsten von BIODIESEL.

Pflanzliche Öle und Fette sind in ihrem Energieinhalt und ihren sonstigen physikalischen Eigenschaften dem Dieselmotor sehr ähnlich. Bereits Rudolf Diesel betrieb seinen neuen Motor im Jahre 1900 auf der Pariser Weltausstellung mit Erdnussöl. BIODIESEL wird aus Pflanzenöl - in Deutschland aus Rapsöl - bereits in mehreren großen Industrieanlagen hergestellt und über Handelsunternehmen vertrieben. Als FAME (Fatty-Acid-Methylester) ist seine Qualität in Deutschland durch die DIN E 51606 vorgeschrieben.

Der Kraftstoff wächst auf den zur Blütezeit weithin gelb leuchtenden Rapsfeldern. BIODIESEL wird derzeit vorwiegend aus Raps hergestellt, der auf zwangsweise stillgelegten Ackerflächen angebaut werden darf, wenn das Rapsöl als Industrierohstoff verwendet wird. Durch Industrieraps werden Arbeitsplätze in der Landwirtschaft erhalten und im Verarbeitungssektor werden neue Stellen geschaffen.

Vor allem die Umweltvorteile, die in zahlreichen nationalen und internationalen Prüfstands- und Flottentests nachgewiesen wurden, führten neben den erwarteten Kostenvorteilen zur Entscheidung für BIODIESEL. Einerseits sind die direkten Auspuffemissionen an den Bussen bei BIODIESEL geringer als bei herkömmlichem mineralischem Diesel, andererseits trägt BIODIESEL als nachwachsender Kraftstoff zur Reduzierung der globalen Klimagasemissionen bei.

Die Nutzung fossiler Ressourcen ist verbunden mit der zunehmenden Emission von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in die Atmosphäre beim Verbrennen von Kohle, Erdgas oder Erdöl. Die Folge ist ein Anstieg der Temperaturen auf der Erdoberfläche mit möglichen folgenschweren Klimaänderungen durch die verstärkte Wärmedämmung der Erde gegen den Weltraum.

Für BIODIESEL sprechen vor allem folgende Argumente:

- einsetzbar in allen vorhandenen und neuen Dieselfahrzeugen,
- auf dem Kraftstoffmarkt verfügbar,
- niedrigere Abgasemissionen als herkömmlicher Dieselmotorkraftstoff,
- regenerativer Kraftstoff mit geschlossenem Kohlendioxidkreislauf bei der Verbrennung im Motor und dadurch Reduzierung des Klimaeffektes,
- relativ geringe Kosten für Fahrzeug- und Infrastrukturanpassung,
- konkurrenzfähiger Kraftstoffpreis,
- biologisch schnell abbaubar, ungiftig und nicht gefährlich.

Bereits bei den Vorbereitungen erkannte die Stadtwerke Neuwied GmbH die große Chance, bei der Komplettumstellung auf den biologisch schnell abbaubaren und wenig wassergefährdenden Kraftstoff, eine Tankstelle auf dem Gelände des Betriebshofes errichten zu können. Aufgrund der Bestimmungen für Wasser-

schutzgebiete, durfte seit Jahren keine Tankstelle mehr für mineralischen Dieselkraftstoff auf dem Betriebshof der Verkehrsbetriebe betrieben werden. Durch die Leerfahrten zur außerhalb liegenden Vertragstankstelle entstanden jährlich Kosten in Größenordnung von 100.000 DM.

Gemeinsam mit dem Verkehrs-Kooperationspartner Verkehrsbetrieb Rhein-Westerwald GmbH (VRW) und dem Betreiber der bisherigen Vertragstankstelle Schlick GmbH & Co. KG sowie mit fachlicher Unterstützung durch die GET - Gesellschaft für Entwicklungstechnologie mbH wurde das BIODIESEL-Projekt Neuwied konzipiert. Wesentlichste Bestandteile waren:

1. Errichtung einer BIODIESEL-Betriebstankstelle durch Umsetzen vorhandener Einrichtungen der Firma Schlick auf dem Betriebshof
2. Umstellung und Betrieb von 26 vorhandenen Omnibussen sowie von 3 Neufahrzeugen der Stadtwerke Neuwied GmbH (SWN) auf BIODIESEL-Betrieb
3. Umstellung und Betrieb von 10 Omnibussen des Vertragspartners VRW auf BIODIESEL-Betrieb
4. Umstellung und Betrieb von 7 vorhandenen Transportern (LKW) der SWN auf BIODIESEL-Betrieb
5. Umstellung und Betrieb von 2 vorhandenen LKW des Abwasserbetriebes auf BIODIESEL-Betrieb

Das Projekt wurde dem Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau in Mainz vorgestellt und seine Bedeutung für die Einführung des umweltfreundlichen landwirtschaftlichen Kraftstoffes in Verkehrs- und Transportbetrieben in Rheinland-Pfalz und darüber hinaus erläutert. Im Oktober 1997 erteilte die Landesregierung den Bewilligungsbescheid für das Demonstrationsvorhaben "BIODIESEL in Bussen des ÖPNV und in Nutzfahrzeugen der Stadtwerke Neuwied, des Verkehrsbetriebes Rhein-Westerwald und des Abwasserbetriebes der Stadt Neuwied".

Für Ausgaben im Zusammenhang mit der Projektdurch-

führung, wie Fahrzeugumrüstung, Tankstelle, Projektbegleitung etc., wurde ein finanzieller Zuschuss des Landes in Höhe von 40 % gewährt.

Als erstes Verkehrsunternehmen in Rheinland-Pfalz fährt die Stadtwerke Neuwied GmbH seit Ende 1997 ihren kompletten Buspark mit dem alternativen Rapsöl-Kraftstoff BIODIESEL. Im Gegensatz zu BIODIESEL-Flottentests mit neuen bzw. wenige Jahren alten Bussen, wie sie vereinzelt durchgeführt wurden, fahren in Neuwied neben Neufahrzeugen zum großen Teil auch Omnibusse der Baujahre 1982/83. Damit würde ein großes Erfahrungsspektrum beim Einsatz von BIODIESEL abgedeckt, auf dem Weg der Umstellung des ÖPNV in Deutschland. Gleichzeitig wurde der im Unternehmen bereits ausgeprägte Umweltgedanke weiter unterstrichen, da der Schutz der Umwelt ganz oben in den unternehmerischen Grundsätzen steht.

Das Demonstrationsvorhaben hatte zum Ziel, die wirtschaftlichen und technischen Auswirkungen des BIODIESEL-Einsatzes in der täglichen Praxis zu untersuchen. Hierzu gehören die Betriebskosten, der eigentliche Fahrbetrieb, der Umgang mit dem anderen Kraftstoff, kleinere Änderungen im Werkstatt- und Servicebereich und natürlich die Akzeptanz der Fahrgäste, die über den neuen Kraftstoff, seine technischen Eigenschaften und seine Umweltauswirkungen informiert werden. Diese Demonstration soll Modellcharakter für andere öffentliche und private Verkehrsbetriebe haben und das notwendige Praxiswissen und spezifische Betriebserfahrungen mit BIODIESEL bereitstellen.

## Projekttablauf

Bei der Vorbereitung und Durchführung des Projektes wurden die Erfahrungen besonders der Kreiswerke Heinsberg GmbH ausgewertet, die als erster ÖPNV-Betrieb bereits 1996 mit der Umstellung ihrer Busflotte begannen. Außerdem war eine enge Zusammenarbeit von Anfang an mit der Fa. Schlick gewährleistet, die auch die Sicherung der BIODIESEL-Versorgung entsprechend des bestehenden Kraftstoffversorgungsvertrages übernahm. Außerdem gab es Kontakte zur UFOP - Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. Bonn und zu einem BIODIESEL-Hersteller, der Oelmühle Conneman, Leer. GET-Gesellschaft für Entwicklungstechnologie mbH Jülich bereitete das Umrüstprogramm vor und führte die Schulung des Service- und Fahrpersonals durch. Während des Fahrbetriebes stand GET den SWN als wissenschaftlicher Begleiter mit Rat und Tat zur Seite.

Die zügige Durchführung des Tankstellenbaus, einschließlich Baugenehmigung, der Beschaffung aller Teile und der Fahrzeugumrüstung in einem Zeitraum von einem Vierteljahr, war nur durch eine straffe Organisation des Projektteams und eine vertrauensvolle Zusammenarbeit möglich.

Bewährt hat sich auch die Schulung des Betriebspersonals über den Umgang und die Handhabung von BIODIESEL, seine Herstellung und ökologischen sowie landwirtschaftlichen Hintergründe, Besonderheiten, Vorsichtsmaßnahmen und Erfahrungen anderer Verkehrsbetriebe. Alle Mitarbeiter erhielten eine Schulungsmappe BIODIESEL, in der die Themen anschaulich dargestellt sind und die während des Projektes als Nachschlagewerk dienen sollte.

Auch während des Fahrbetriebes erfolgte der Informationsaustausch zwischen den Partnern und die Auswertung von Betriebsdaten. Intensiv war auch der Erfahrungsaustausch mit den Kreiswerken Heinsberg.

Hier ging es um Erkenntnisse bei der Umrüstung und beim Fahrbetrieb. Dadurch konnten Ergebnisse und technische Handhabungsvorschläge direkt vom jeweiligen anderen Partner in seiner Flotte genutzt werden.

## Busflotte

In der Startphase des Projektes umfasste die BIODIESEL-Flotte folgende Fahrzeuge:

- 26 Busse der Stadtwerke Neuwied GmbH (Standard-Linienbusse Mercedes-Benz O 305, Standard-Linien-Gelenkbusse Mercedes-Benz O 405G und 1 Standard-Linien-Gelenkbus Mercedes-Benz O 305G, Standard-Linien-Gelenkbusse MAN NG 272 und NG 312, MAN-Standard-Linien-Gelenkbusse (Niederflur) und MAN-Standard-Linienbusse) und 3 BIODIESEL-taugliche Neufahrzeuge MAN
- 10 Busse der Verkehrsbetriebe Rhein-Westerwald (Mercedes-Benz Niederflur-Linienbusse O 405 N2 bzw. NÜ, je 1 Standard-Linienbus Mercedes-Benz O 305 und O 408)
- 7 Kleintransporter der Stadtwerke und 2 LKW des Abwasserbetriebes Stadt Neuwied (Mercedes-Benz-LKW 1722 und 1622, Kleintransporter Ford Transit und VW-Transporter)

Alle vorhandenen Fahrzeuge wurden entsprechend für den BIODIESEL-Einsatz umgerüstet:

- Austausch von Schläuchen und Dichtungen, die nicht beständig gegen das leichte Lösungsmittel Fettsäuremethylester waren,
- Einbau von Oxidationskatalysatoren im Austausch zu den vorhandenen Schalldämpfern.

Oxidationskatalysatoren wandeln als einfachste Form der Abgasbehandlung bei Dieselmotoren Kohlenmonoxid

CO) und Kohlenwasserstoffe (HC) zu Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Wasser (H<sub>2</sub>O) durch Oxidationsvorgänge um. Der Einsatz in Nutzfahrzeugdieselmotoren scheidet bisher am Schwefelgehalt des fossilen Dieselkraftstoffes und der Rußemission der Dieselfahrzeuge. Bei den Fuhrparks der ÖPNV-Betriebe mit konventionellem Dieselbetrieb ist der Einsatz von Oxidationskatalysatoren deshalb nicht möglich. Die Schwefelfreiheit von BIODIESEL ermöglicht den Einsatz von Oxidationskatalysatoren, wodurch die Abgasemissionen nochmals drastisch reduziert werden. Gleichzeitig verschwindet im Normalbetrieb der estertypische Abgasgeruch, der vor allem im Stadtverkehr oftmals subjektiv als unangenehm empfunden wird. Für eine Reduzierung der Stickoxidemission (NO<sub>x</sub>) eignen sich diese Katalysatoren nicht.

Im Laufe des Projektes wurden im Zeitraum 1.1.1997 - 30.10.2000 ältere Busse ausgesondert und verkauft und weitere Neufahrzeuge angeschafft. **Bei Ausschreibung von neuen Bussen war die BIODIESEL-Tauglichkeit zwingendes Auswahlkriterium.**

Die komplette Fahrzeugliste ist im Anhang enthalten.

## ***Vorbereitung der Fahrzeuge***

BIODIESEL kann in allen Arten von Dieselmotoren genutzt werden. Vom motorischen Standpunkt gesehen ist BIODIESEL sogar der bessere Kraftstoff im Vergleich zu mineralischem Diesel:

- Sehr gute Zündwilligkeit, daraus folgt ein harmonischer Verbrennungsverlauf ohne zu hohe Druckspitzen und damit ein weicher Motorlauf.
- 11 % Sauerstoff-Gehalt, das bedeutet eine geringere Ruß-Produktion.
- Gute Grenzschmierfähigkeit, wodurch sich ein geringer Verschleiß ergibt.
- Geringe Verkokungsneigung.

Allerdings ist BIODIESEL ein ausgezeichnetes Lösungsmittel. Daher muss man bei allen Bauteilen, die mit BIODIESEL in Berührung kommen, auf ausreichende Beständigkeit gegenüber diesem Lösungsmittel achten. Insbesondere sind die kraftstoffführende Leitungen aus Gummi oder Kunststoff sowie entsprechende Dichtungen im Kraftstoffsystem. Bei Neufahrzeugen werden heute bereits weitestgehend beständige Materialien serienmäßig oder nach Bestellung eingebaut. Die meisten der vorhandenen Fahrzeuge mussten nachträglich hinsichtlich Schläuchen und Dichtungen für BIODIESEL umgerüstet werden. Dies ist die einzige fahrzeugtechnische Anpassung für den nachwachsenden Kraftstoff.

Bei der Umstellung der Busse und Transporter von SWN und der Busse von VRW sowie der LKW vom Abwasserbetrieb auf den Betrieb mit BIODIESEL mussten Kraftstoffschläuche und Dichtungen aus Gummi und Nitrilbutadien (NBR) gegen BIODIESEL-beständige Materialien ausgewechselt werden. Wäre dies nicht erfolgt, hätte BIODIESEL (chemisch Fettsäuremethylester) möglicherweise in die Molekülstruktur der Schläuche oder Dichtungen eindringen können, was zu sehr starker Quellung und möglicherweise Auflösen geführt hätte. Durch den Ester kann auch Weichmacher herausgelöst werden, wodurch Versprödungen der Materialien festzustellen sind.

Ohne Bedenken sind Materialien aus Fluorkautschukverbindungen (FPM) für den BIODIESEL-Betrieb geeignet.

Aufgrund der guten Lösungseigenschaften von BIODIESEL, werden bei Fahrzeugen, die bereits mit mineralischem Diesel betrieben wurden, vorhandene Ablagerungen im Tank und Kraftstoffsystem gelöst. Das führt dann zu einer Verstopfung des Kraftstofffilters.

Daher wurde der Filter nach kurzer Zeit des Betriebes mit BIODIESEL vorsorglich ausgewechselt. Teilweise gab es auch Filterverstopfungen, die auf sehr starke Ablagerungen aus dem Dieselbetrieb zurückzuführen

waren. Die Fahrzeuge führten aber für Notfälle immer einen Kraftstofffilter mit. Im weiteren Betrieb mit BIODIESEL traten keine Verstopfungen mehr auf.

BIODIESEL kann Lacke angreifen und sogar auflösen. Aus diesem Grund ist insbesondere beim Betanken der Fahrzeuge besondere Vorsicht geboten. Übergelaufener Kraftstoff muss möglichst umgehend abgewischt werden.

Wichtig ist, dass BIODIESEL keinen Schwefel enthält. Daher ist das Abgas frei von Schwefeloxiden, die sauren Regen bewirken und zu Schäden an Gebäuden führen. Außerdem kann aus diesem Grund ein Oxidationskatalysator eingebaut werden, der eine hohe Umsetzungsrate für die Schadstoffe aufweist. Bei herkömmlichem mineralischen Diesel ist der Einsatz von Oxidationskatalysatoren durch den immer noch zu hohen Schwefelgehalt in Nutzfahrzeugen nicht möglich.

Oxidationskatalysatoren bei BIODIESEL-betriebenen Fahrzeugen reduzieren nochmals drastisch die schädlichen Abgaswerte und bewirken, dass der typische Abgasgeruch praktisch völlig verschwindet. Vor allem die für den Dieselmotor als kritisch bezüglich der Einhaltung zukünftiger Grenzwerte einzustufende Partikelemission wird durch den Katalysator erheblich reduziert. Alle Fahrzeuge der Projektflotte wurden mit Oxidationskatalysatoren ausgerüstet.

Von den Herstellern der Busse und sonstigen Fahrzeuge wurden die entsprechenden Serviceanleitungen für BIODIESEL-Umrüstungen eingeholt. Sie dienten einerseits für die Bestellung der Austauschteile, andererseits gaben sie auch Hinweise für die Umbauarbeiten und den Betrieb.

Die Umstellung der Versuchsflotte wurde gründlich mit allen Beteiligten vorbereitet:

- Ermittlung und Beschaffung der BIODIESEL-Austauschteile
- Auswahl und Bestellung der Oxidationskatalysatoren
- Erfahrungsaustausch und Betriebsbesuch Kreiswerke Heinsberg GmbH
- Zusammenarbeit mit BIODIESEL-Hersteller bzw. -Lieferant
- Analysenprogramm mit Schmierölhersteller
- Mitarbeiterschulung
- Umrüstung der Fahrzeuge

Für die Mercedes-Benz und MAN-Fahrzeuge erfolgte durch die Hersteller eine Musterumrüstung in der SWN-Werkstatt, bei der das Werkstattpersonal wichtige Anleitungen und Hinweise für die Umrüstung der anderen Busse erhielt. Die VRW-Fahrzeuge wurden komplett von der Fa. KBM Mercedes-Benz Neuwied umgerüstet.

Nachfolgend sind in Tabelle 2 überblicksmäßig die notwendigen Umrüstungen für BIODIESEL aufgeführt, die jedoch fahrzeugspezifisch differieren, wie die Einzelvorschriften im Anhang zeigen.

Die Standheizungen in den Transportern von SWN wurden bisher aus dem Kraftstofftank mit Brennstoff versorgt. Sie waren für den Betrieb mit BIODIESEL nicht geeignet. Es wurden deshalb separate Brennstoffbehälter für Heizöl eingebaut.

Der Betrieb der Standheizungen der SWN-Busse erfolgte auch bei BIODIESEL-Betrieb mit Heizöl aus den bereits vorhandenen Zusatztanks in den Fahrzeugen. Demgegenüber mussten die Zusatzheizungen der VRW-Busse durch BIODIESEL-Austauschteile nachgerüstet werden.

Alle Teile, die zur Umrüstung der Fahrzeuge notwendig waren, wurden von den Fahrzeugherstellern beschafft. Teilweise bestanden Lieferengpässe, weshalb auch z. B. Schlauchmaterial unkonfektioniert beschafft werden musste und die fahrzeugspezifischen Teile von der SWN-Werkstatt angefertigt wurden.

Oxidationskatalysatoren für Mercedes-Benz-Busse der Baureihe O 305 konnten nicht von MB bzw. dessen Katalysatorhersteller HJS Menden zur Verfügung gestellt

werden. Die von MAN angebotene Lösung für den Einbau von Oxidationskatalysatoren war teuer und kompliziert im Einbau. Für diese Fahrzeuge wurden Katalysatoren der Firma Mangold-Oberland, Garmisch-Partenkirchen, bezogen. Der Katalysatorkörper wurde dort in die Original-Schalldämpfer nach Beistellung und Entfernung der Einbauten integriert. Dabei handelt es sich um Katalysatoren in kompletter Edelstahlausführung, die in ihren Einbaumaßen den vorhandenen Schalldämpfern der Busse entsprechen.

Tabelle 1: Umrüstprogramm

EURO 2 Lademotoren	EURO 1 Lademotoren	EURO 0/ EURO 1 Saugmotoren
A) Umrüstumfang Kraftstoffanlage		
Kraftstofftank entleeren		
O-Ring Kraftstoffsieb 34 x 3 einbauen		
Kraftstofffiltereinsatz mit Dichtring erneuern		
Kraftstoffleitung im Bereich der Einspritzpumpe tauschen		
EHAB tauschen		
	Leckölleitungen erneuern	Leckölleitungen erneuern
B) Umrüstumfang Auspuffanlage		
Endrohr mit Nachschalldämpfer ausbauen		
Auspuffblende abbauen, hierzu die Niete abbohren		
Endschalldämpfer ausbauen		
Oxidationskatalysator einbauen		
Auspuffendrohr ohne Nachschalldämpfer einbauen		
Auspuffendrohrblende festschrauben		
C) Prüfumfang		
Kraftstoffanlage auf Dichtheit prüfen		
Abgasanlage auf Dichtheit prüfen		

## Motorenöl

Bei Dieselmotoren gelangt, insbesondere im Teillastbereich, über die Kolbenringe eine geringe Menge Kraftstoff in das Motorenöl. Bei mineralischem Diesel dampft dieser Kraftstoffanteil entsprechend der Siedekurve über die Entlüftung aus. BIODIESEL verdampft erst bei wesentlich höheren Temperaturen und kann sich deshalb im Motorenöl anreichern. Die Effekte dieser Schmieröl-Verdünnung werden intensiv diskutiert. Aufgrund der guten Grenzschmiereigenschaften von BIODIESEL geht man davon aus, dass die negativen Effekte der Verdünnung - eine mangelhafte Ausbildung des Schmierfilms - zumindest teilweise aufgehoben werden.

Es existieren jedoch keine systematischen Untersuchungen zu dem Einfluss der Verdünnung des Motorenöls mit BIODIESEL. Um möglichen Schäden vorzubeugen, wird daher von den Motorenherstellern empfohlen, pauschal die Ölwechselintervalle zu halbieren. Dadurch ergeben sich wirtschaftlich zwei Faktoren, die nicht zu vernachlässigen sind. Dies ist zum einen die Verdoppelung der benötigten Frischölmenge sowie die Verdoppelung der zu entsorgenden Altölmenge. Insbesondere ergeben sich durch den zusätzlichen Wartungsaufwand längere Standzeiten der Fahrzeuge und ein zusätzlicher Werkstattaufenthalt im Jahr pro Bus.

Um dies zu umgehen, entschlossen sich die Stadtwerke Neuwied GmbH, die Schmierölqualität regelmäßig zu kontrollieren, um anhand der Ergebnisse einen notwendigen Ölwechsel zu erkennen.

Im Versuchsprogramm wurde deshalb die Überwachung der Ölqualität während eines normalen Zyklus (ca. 30.000 km) vorgesehen. Die Analysen wurden von dem Motorenölhersteller durchgeführt, u. z. nach 5.000 km nach Umstellung und dann alle 10.000 km Laufleistung festgelegt. Die analysierten Werte wurden vor allem hin-

sichtlich des Viskositätsabfalls, der Verschleißindikatoren wie z. B. Metallabrieb und anderer ölspezifischer Kennzahlen bewertet. Damit sollte überprüft werden, ob die bisher bei mineralischem Diesel zulässigen Ölwechselintervalle auch bei BIODIESEL-Betrieb beibehalten werden können.

Die Analysen wurden bei der Kuwait Oil Deutschland GmbH, dem Hersteller des verwendeten Motorenöles, vorgenommen. Bei dem eingesetzten Öl handelt es sich um "Q8 T710 15W-40".

Es handelt sich dabei um ein Schmieröl der SAE-Klasse 40. Der untere Grenzwert der Viskosität bei 100°C für diese Klasse liegt bei 12,5 mm<sup>2</sup>/s. Im Frischöl liegen die Viskositätswerte um 14 mm<sup>2</sup>/s. Von den Motorenherstellern wird auch ein Öl der SAE-Klasse 30 akzeptiert. Für diese Klasse liegt der untere Viskositätsgrenzwert bei 9,3 mm<sup>2</sup>/s.

Im Anhang sind die Viskositätsverläufe des Schmieröls für die Busflotte grafisch dargestellt. Auffällig ist der hohe Viskositätsabfall während der ersten 10.000 km. Danach ist die Tendenz zum Einpegeln auf Werte zwischen 10 - 11 mm<sup>2</sup>/s erkennbar. Fahrzeugabhängig ergeben sich teilweise sehr unterschiedliche Verläufe. Ein Unterschreiten der SAE 30-Grenze ist jedoch nicht eingetreten. Es zeigte sich, dass innerhalb der auch bei mineralischem Diesel zugelassenen Ölwechselintervalle kein unzulässiges Absinken der Viskosität bei BIODIESEL-Betrieb festgestellt werden konnte.

Neben einer starken Verringerung der Viskosität wird häufig auch die Zunahme der Viskosität aufgrund von Polymerisationsvorgängen bei höheren Laufleistungen mit BIODIESEL befürchtet. Eine Zunahme konnte bei einzelnen Fahrzeugen auch in der Versuchsflotte beobachtet werden. Teilweise resultieren sie aus bereits vollzogenem Ölwechsel und aus Nachfüllungen mit Frischöl. Trotzdem wären systematische Untersuchungen dieses Phänomens noch erforderlich.

Der TBN-Wert (basische Reserve im Öl) stellt einen weiteren Aspekt zur Beurteilung der Schmierölqualität dar. Die TBN-Werte sind in Abhängigkeit von der Laufleistung ebenfalls im Anhang dargestellt. Langfristig ist der Trend zur Verringerung des TBN-Wertes mit zunehmender Laufleistung festzustellen. Kurzfristig schwanken die Werte stark, was auf das Nachfüllen mit Frischöl während des laufenden Betriebes zurückzuführen ist. Allgemein gilt als Regel, dass der TBN-Wert nicht unter 50 % des Wertes für Frischöl absinken sollte, der zwischen 12 - 14 mg KOH/g liegt. Bei allen Bussen wurde der Toleranzbereich eingehalten.

Der im Schmieröl festgestellte Metallabrieb gibt Aufschluss über die Schmierfähigkeit des Öls. Die Auswertungen zeigten (siehe Anhang), dass mit zunehmender Laufleistung erwartungsgemäß z. B. des Eisenanteil ansteigt. Jedoch liegen alle Analysen weit unterhalb des Grenzwertes von 150 mg/kg. Es wurden Werte bis ca. 50 mg/kg analysiert, die damit unterhalb der Werte liegen, wie sie beim Betrieb mit mineralischem Diesel feststellbar sind. Daraus lässt sich vermuten, dass die Schmierfähigkeit des Öls beim Betrieb mit BIODIESEL besser ist, als beim Betrieb mit mineralischem Diesel, auch wenn sich die Viskosität verringert. Diese positive Eigenschaft wird häufig auf die Verdünnung des Öls mit BIODIESEL zurückgeführt, der, wie bereits erwähnt, eine wesentlich bessere Grenzschmierfähigkeit als mineralischer Diesel aufweist.

Auch bei den anderen Analysewerten wie Wasser, Silicium, Gesamtverschmutzung, Kupfer, Blei, Zinn, Aluminium etc. wurden bis auf Ausnahmen keine Werte festgestellt, die einen früheren Ölwechsel begründet hätten. Bei den Ausnahmen handelt es sich um Fahrzeuge, bei denen durch die Ölanalysen ein bereits vom Dieseltreibstoff herrührender Lagerschaden bzw. Korrosionsschaden vorlag. Die Motoren wurden instandgesetzt.

## ***Kraftstoffverbrauch***

Für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit des BIODIESEL-Betriebes ist der Kraftstoffverbrauch eine entscheidende Größe. Hierzu liegen unterschiedliche Angaben einerseits der Fahrzeughersteller (+ 10 %) und andererseits von BIODIESEL-Anwendern (+ 0...+ 5 %) vor.

Der Energieinhalt (Heizwert) von BIODIESEL ist volumetrisch etwa 10 % niedriger als der von fossilem Diesel. Andererseits führen die Stoffeigenschaften von BIODIESEL (Sauerstoffträger, höhere Cetanzahl etc.) zu einer besseren Verbrennung im Motor. Obwohl im Praxiseinsatz auch Mehrverbräuche von bis zu 10 % vereinzelt festgestellt wurden, gab es Fahrzeuge, die einen Minderverbrauch hatten. Im Schnitt bestätigen sich die bekannten Daten von 5 % höherem Kraftstoffverbrauch gegenüber Dieseltreibstoff, die auch bei anderen BIODIESEL-Busflotten festgestellt wurden.

## **Kosten**

Der große Vorteil von BIODIESEL ist, dass er in praktisch allen Dieselmotoren verwendet werden kann. Wie bereits erläutert, sind einige Umrüstungen von Schläuchen und Dichtungen vorzunehmen.

Zur weiteren Senkung der Abgasemissionen - vor allem bei den kritischen Partikeln - und zur Vermeidung von BIODIESEL-spezifischen Geruchsproblemen, wurden alle Busse und sonstigen Fahrzeuge mit einem Oxidationskatalysator ausgerüstet.

Zwischenzeitlich sind Umrüstteile preiswerter beschaffbar und auch die Katalysatorenfertigung ermöglicht kostengünstigere Lösungen ohne Verwendung von Original-Schalldämpfern. Unter Berücksichtigung der Montagen mit eigenen Kräften und wirtschaftlichen Bestellmengen kann von durchschnittlichen einmaligen Umrüstkosten von ca. 5.500 DM pro Bus ausgegangen werden, wovon der Katalysator etwa 80 % ausmacht, wobei es fahrzeugspezifische Schwankungen gibt.

Neben den Investitionen sind die Betriebskosten bei BIODIESEL entscheidend. Reparaturen und Instandhaltungen sind in gleichem Maße wie bei Dieselmotoren anzusetzen, d. h. keine Mehrkosten bei BIODIESEL. Zusätzliche Werkstattaufenthalte für zusätzliche Ölwechsel sind bei BIODIESEL in der Regel nicht erforderlich.

Damit bleiben die Kraftstoffkosten als Unterschied im Betrieb zu mineralischem Diesel. Vor Projektbeginn waren die Kosten für BIODIESEL konkurrenzfähig zu mineralischem Diesel. Mit Beginn des Fahrbetriebes veränderte sich die Situation dramatisch durch fallende Rohölpreise, steigende Weltmarktpreise für Rapsöl und unsichere Aussichten für die Landwirtschaft in der EU. Die BIODIESEL-Preise lagen in Deutschland bis Frühjahr 1999 über den Preisen für mineralischen Diesel. Die Situation der Großabnehmerpreise für BIODIESEL im Vergleich zu mineralischem Diesel in Deutschland ist in

der Grafik im Anhang dargestellt.

Berücksichtigt man die derzeit im Bau befindlichen BIODIESEL-Anlagen und die dadurch entstehende Angebots- und Konkurrenzsituation, könnte die positive Entwicklung mit niedrigen BIODIESEL-Preisen auch zukünftig weiter bestehen. Außerdem sind bei fossilem Dieselmotoren für schwefelfreie Qualitäten Mehrkosten von 5 - 7 Pfennig pro Liter zu zahlen.

Trotz teilweise höherer Preise, schlagen bei den Stadtwerken Neuwied die Ersparnisse durch die nur mit BIODIESEL zulässige Betriebstankstelle zusätzlich zu Buche.

## Abgasemissionen

Heutige Serien-Nutzfahrzeug-Dieselmotoren unterbieten hinsichtlich des Ausstoßes an Kohlenmonoxid (CO) und Kohlenwasserstoff (HC) bereits die ab 2005 geltende Euro IV. Probleme bereiten die Forderungen nach Reduzierung der Partikelemissionen (PM) und des Ausstoßes von Stickoxiden (NO<sub>x</sub>). Bereits die Vorschriften nach Euro III sind nicht mit Seriidieselfahrzeugen erfüllbar.

Die Reduzierung des Schwefelgehaltes im Dieselmotorkraftstoff und Abgasbehandlungssysteme müssen zur Erfüllung zukünftiger Abgasgrenzwerte realisiert werden.

Im konventionellen Dieselmotorkraftstoff wurde der Schwefelgehalt ab 1996 von bis dahin 0,2 % auf 0,05 % gesenkt. Angestrebt wird der "schwefelfreie" Dieselmotorkraftstoff über weitere Stufen (50 ppm/0,005 % ab 2005, 10 ppm/0,001 %). Schwefelfreier Dieselmotorkraftstoff kann bereits heute gegen Aufpreise von 5 - 7 Pf./l bezogen werden.

BIODIESEL ist von Natur aus schwefelfrei und kann damit mit allen auch für schwefelfreien Diesel entwickelten Abgasbehandlungssystemen verwendet werden, wobei

sich die gegenüber fossilem Diesel günstigeren Emissionen nochmals drastisch reduzieren lassen. Alle Fahrzeuge wurden mit Oxidationskatalysatoren ausgerüstet.

Diese einfachste Form der Abgasbehandlung wandelt Kohlenmonoxid (CO) und Kohlenwasserstoffe (HC) zu Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Wasser (H<sub>2</sub>O) durch Oxidationsvorgänge um. Der Einsatz in Nutzfahrzeugsdieselmotoren scheitert bisher am Schwefelgehalt des Kraftstoffes und der Rußemission bei Betrieb mit schwefelhaltigem Diesel. Bei den Fuhrparks der ÖPNV-Betriebe mit konventionellem Dieselmotorkraftstoff ist der Einsatz von Oxidationskatalysatoren deshalb nicht möglich. Für BIODIESEL-Betrieb sind sie sehr gut geeignet und reduzieren auch den Abgasgeruch.

Im Diesel-PKW werden diese Katalysatoren bereits seit Jahren eingesetzt, wobei wegen des Schwefelgehalts des Kraftstoffes eine Schutzschicht aufgetragen wird, die die Wirksamkeit des Katalysators herabsetzt. Für eine Reduzierung der Stickoxidemission (NO<sub>x</sub>) eignen sich diese Katalysatoren nicht.

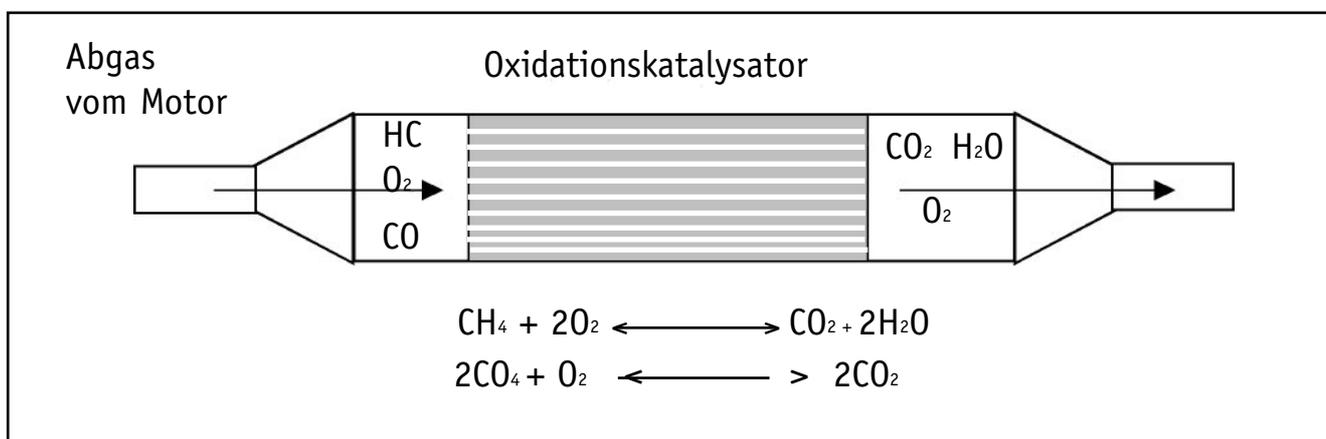


Abbildung 1: Aufbau des Oxidationskatalysators

Umfangreiche Untersuchungen von mit BIODIESEL betriebenen Nutzfahrzeugen bestätigten die günstigeren Abgasemissionen. Werden Oxidationskatalysatoren eingesetzt, können nochmals drastische Reduzierungen gegenüber mineralischem Diesel erreicht werden.

Unstrittig sind die bei BIODIESEL beobachteten leicht höheren NO<sub>x</sub>-Emissionen. Diese resultieren aus dem anderen Zünd- und Verbrennungsverhalten von BIODIESEL gegenüber fossilem Dieselkraftstoff.

Beim Selbstzündermotor besteht der Zielkonflikt, dass eine Absenkung der NO<sub>x</sub>-Emissionen mit einer Erhöhung der Partikelemissionen verbunden ist. Die niedrigeren Partikelemissionen bei BIODIESEL ermöglichen eine Veränderung des Einspritzzeitpunktes mit dem Ergebnis niedrigerer NO<sub>x</sub>-Emissionen ohne die zulässigen Partikelemissionen zu überschreiten.

Der Dieselmotor wird seit 100 Jahren für fossilen Dieselkraftstoff weiterentwickelt. Durch die Optimierung des Motors für BIODIESEL und ein Gesamt-Optimierungskonzept Motor-Kraftstoff-Abgasnachbehandlung lässt sich der "Vorsprung" von regenerativem BIODIESEL gegenüber mineralischem Diesel weiter ausbauen. Moderne elektronische Motormanagementsysteme sind dafür hervorragend geeignet.

Die Auswertung der gesetzlich vorgeschriebenen Abgasuntersuchungen (AU), bei denen die Abgastrübung gemessen wird, bestätigen die geringeren Rußemissionen (siehe Anhang). Die AU-Messwerte liegen etwa nur im Schnitt bei 50 % der bei Diesel gemessenen Werte.

## ***Betriebserfahrungen***

Insgesamt ist festzustellen, dass sich der Betrieb mit BIODIESEL bewährt hat. Sowohl im Fahrbetrieb als auch bei Wartung und Instandhaltung ist BIODIESEL eine vollwertige umweltfreundliche Alternative zu fossilem Dieselkraftstoff.

Eine Reihe von Erfahrungen wurden im Projektverlauf gesammelt, die zur Modifizierung bzw. Änderung von Serviceanleitungen und Umrüstvorschriften bei den Fahrzeugherstellern führten. Vor allem Kraftstoffschläuche und Dichtungen sind sorgfältig einzubauen und regelmäßig zu kontrollieren.

Vor allem bei den Bussen älterer Baujahre traten am Anfang Verstopfungen der Kraftstofffilter zusätzlich nach dem planmäßigen Wechsel (4 Wochen nach Aufnahme des BIODIESEL-Betriebes) auf. Hier sollte zukünftig noch ein weiterer turnusmäßiger Wechsel eingeplant werden.

Während des fast dreijährigen Betriebes mussten die Kraftstoffschläuche im Bereich der Einspritzpumpe bei einer Reihe von Fahrzeugen nochmals umgebaut werden. Dies resultierte aus einem ursprünglich für BIODIESEL freigegebenen Schlauch, der sich beim Praxiseinsatz als nicht geeignet herausstellte. Eine Zwischenlösung mit neuem Vollkunststoffschlauch in Well-Schutzrohren verlegt, musste ebenfalls wieder verändert werden, da sich das Material am Schutzrohr durch Vibrationen aufrieb. Die heute für BIODIESEL-Umstellungen fahrzeugspezifisch angegebenen Herstelleranleitungen basieren auch auf den Erfahrungen des Neuwieder Projektes.

Wichtig war, dass die Belegschaft vor Einführung des neuen Kraftstoffes in die Vorbereitung mit einbezogen wurde, eigene Vorschläge zur Projektdurchführung mit einbrachte und umfassend über BIODIESEL selbst, seine Herstellung und seine Handhabung informiert wurde.

Besonders bei der Umrüstung des Kraftstoffsystems muss auf höchste Qualität und striktes Befolgen der Einbau-Anleitungen geachtet werden.

Für den Werkstatt- und Tankbereich ist darauf zu achten, dass ein Leckagebindemittel verwendet wird, was ausdrücklich für BIODIESEL empfohlen wird. Das übliche bei Diesel verwendete Granulat ist nicht geeignet. Das geeignete Mittel muss auch den Einsatzkräften der Feuerwehr zur Verfügung stehen, da BIODIESEL-Leckagen auf der Straße nur mit Sand oder speziellen Mitteln aufgenommen werden können.

## ***Empfehlung und Ausblick***

Der bisherige Betrieb mit BIODIESEL bei der Stadtwerke Neuwied GmbH, der Verkehrsbetrieb Rhein-Westerwald GmbH und beim Abwasserbetrieb hat gezeigt, dass der zuverlässige und wirtschaftliche Betrieb mit BIODIESEL anstelle von fossilem Dieselkraftstoff möglich ist. Die vielen Vorteile des Dieselmotors kommen durch Betrieb mit BIODIESEL noch stärker zur Wirkung.

Die Umstellung der Fahrzeuge bereitete keine Schwierigkeiten, ebenso wie die laufende Wartung der Fahrzeuge. Bei der Wirtschaftlichkeit zeigen sich zunehmend Vorteile gegenüber dem Betrieb mit mineralischem Diesel, trotz eines durchschnittlichen Mehrverbrauches von ca. 5 %. Dies ist auf die derzeitigen geringeren Preise für BIODIESEL im Vergleich zu mineralischem Diesel zurückzuführen.

Die von den Fahrzeugherstellern geforderte Halbierung der Motoröl-Wechselintervalle konnte durch die kontinuierliche Überwachung des Schmieröls vermieden werden. Unzweifelhaft ist mit der Substitution von mineralischem Diesel durch BIODIESEL eine vernünftige Nutzung der Stilllegungsfläche in der Landwirtschaft und eine Sicherung bzw. ein Ausbau von Arbeitsplätzen möglich.

Der Schwefelgehalt im Dieselkraftstoff führt über die Schwefeloxide im Abgas zur Bildung von "saurem" Regen und Schäden an Bauwerken. Außerdem erhöht er die Abgasemissionen und verhindert den Einsatz von Oxidationskatalysatoren und anderen Abgasnachbehandlungssystemen. Mineralischer Dieselkraftstoff darf noch 500 ppm (0,05 %) Schwefel enthalten und ab 2005 nur noch maximal 50 ppm. Die modernen Abgasnachbehandlungssysteme erfordern noch geringere Schwefelgehalte von 10 ppm. BIODIESEL ist von Natur aus praktisch schwefelfrei und hat dadurch bereits geringere Abgasemissionen und ermöglicht bereits heute den Einsatz moderner Abgasnachbehandlungssysteme.

Mit Motoreinstellung kann die NO<sub>x</sub>-Emission bei BIODIESEL gesenkt werden. Die Partikelemission bei BIODIESEL ist bis zu 60 % geringer als bei mineralischem Diesel. BIODIESEL hat bereits stofflich ein hohes Potenzial, den Schadstoffausstoß von Dieselmotoren zu verringern. Er ist schwefelfrei, verbrennt effektiver und hat bereits ohne Abgasbehandlungssystem günstigere Abgaswerte als mineralischer Diesel. Drastische Reduzierungen lassen sich bei BIODIESEL bereits mit einfachen Oxidationskatalysatoren erreichen. Aufgrund der niedrigen Partikelemission sind Partikelfilter nicht erforderlich. Wird die Beschichtung des Oxidationskatalysators für BIODIESEL optimiert (scharfer Kat), können weitere Reduzierungen erreicht werden.

Alle für mineralischen Diesel entwickelten Abgasnachbehandlungssysteme wie z. B. CRT-Systeme können auch bei BIODIESEL eingesetzt werden und verstärken dann ihren Effekt gegenüber Dieselkraftstoff.

Oft wird in der Öffentlichkeit vorrangig der lokal wirksame Schadstoffausstoß der ÖPNV-Fahrzeuge diskutiert, um auf die Problematik der Luftverschmutzung in Ballungsräumen hinzuweisen. Es ist aber dabei zunehmend auch der globale Ansatz zu berücksichtigen. Im Spannungsfeld zwischen Wirtschaftlichkeit und ganzheit-

lichem Umweltschutz müssen auch die globalen Klimagasemissionen sowie die Ressourcenschonung und Energieeffizienz mit berücksichtigt werden.

Hier steht der regenerative Kraftstoff BIODIESEL dank seiner Vorzüglichkeit als Kraftstoffalternative für den ÖPNV an erster Stelle:

- niedrigerer lokaler Schadstoffausstoß (limitierte und nicht-limitierte Emissionen),
- Wirtschaftlichkeit durch geringere Kraftstoffkosten und Nutzung des vorhandenen Fahrzeugparks,
- geringer Verbrauch fossiler Ressourcen,
- Reduzierung des globalen Treibhausgasausstoßes und
- einheimische Energieproduktion und Arbeitsplatzeffekte.

Das große Potenzial von BIODIESEL sollte zukünftig noch besser deutschlandweit im ÖPNV genutzt werden.



## *Anhang*



BIODIESEL-Busflotte Verkehrsbetrieb Rhein Westerwald GmbH

lfd. Nr.	KOM	amtl. Kennzeichen	Baujahr	Motortyp	Art	Hersteller	Laufleistung RME 12/00
1	43	NR-SZ 43	1983	OM 407	Standard-Linien KOM	Mercedes	300.200
2	75	NR-SZ 75	1994	OM 447	Standard-Linien KOM	Mercedes	295.100
3	79	NR-SZ 79	1997	OM 447	Standard-Linien KOM	Mercedes	309.764
4	80	NR-SZ 80	1997	OM 447	Standard-Linien KOM	Mercedes	299.199
5	81	NR-SZ 81	1997	OM 447	Standard-Linien KOM	Mercedes	311.726
6	82	NR-SZ 82	1997	OM 447	Standard-Linien KOM	Mercedes	296.653
7	83	NR-SZ 83	1997	OM 447	Standard-Linien KOM	Mercedes	305.027
8	91	NR-ZS 91	1996	OM 447	Standard-Linien KOM	Mercedes	300.716
9	92	NR-ZS 92	1996	OM 447	Standard-Linien KOM	Mercedes	296.425
10	93	NR-ZS 93	1996	OM 447	Standard-Linien KOM	Mercedes	295.542
<b>Gesamt mit BIODIESEL</b>							<b>3.010.352</b>

BIODIESEL-Fahrzeuge Stadtwerke und Abwasserbetrieb Neuwied

lfd. Nr.	Wagen	amtl. Kennzeichen	Baujahr	Leistung kW	Art	Hersteller	Laufleistung RME Jan 01	
1	1	NR-A 9201	1997	57	Transporter	VW	41.680	
2	4	NR-C 704	2000	47	PKW Caddy	VW	13.480	
3	5	NR-C 5505	1998	55	Transporter	VW	48.330	
4	6	NR-C 5006	1998	55	Transporter	VW	12.570	
5	15	NR-D 1715	1993	51	Transporter	Ford	41.367	
6	19	NR-A 7319	1999	55	Transporter	VW	11.205	
7	22	NR-B 1022	2000	66	Transporter	VW	12.075	
8	23	NR-C 8023	1993	51	Transporter	Ford	83.500	
9	24	NR-B 624	2000	66	Transporter	VW	16.990	
10	29	NR-E 9629	2000	66	PKW	VW	21.210	
11	54	NR-A 2854	1998	50	PKW	VW	55.380	
12	59	NR-B 859	2000	63	Kombi	Ford	9.513	
13	76		1999	70	Gabelstapler FD 70T	Mitsubishi		
14	87	NR-D 8987	1999	66	PKW	Toyota	33.190	
15		NR-D 1984	11/98	4 AB	Transporter	Ford	33.033	verkauft
16	58	NR-C 3358	08/98	AAB	Transporter	VW	71.010	verkauft
1	ABW 1	NR-C 5301	06/93	441 923	LKW	Mercedes	15.542	
2	ABW 2	NR-C 5302	07/83	421 905	LKW	Mercedes	27.622	
<b>Gesamt mit BIODIESEL</b>							<b>547.697</b>	





## Umrüstung auf BIODIESEL-Betrieb (Angaben pro Bus)

Mercedes-Benz O 305 / Motoren OM 407

### 17 Busse SWN

Kraftstoffqualität: Pflanzenöl-Methylester nach DIN E 51606

1	Teile	Menge	Teile-Nr. RME-Ausführung	Lieferer
1.1	O-Ring Kraftstoffsieb/Tankablaß 34x3 Viton	1	002 997 72 45 DBL 5563.13	MB
1.2	Kraftstofffiltereinsatz 0.5l mit Dichtring	2	MB 352 470 0092	MB
1.3	Kraftstoffleitung im Bereich Einspritzp.	4	MB 357 997 3782	MB
1.4	Leckölleitung	2 m	A 427 997 09 82	MB
1.5	Handpumpe	1	MB 000 090 88 50 ( KWH 000 091 21 90) (Bosch 244 701 0045-410)	MB
1.6	Schalldämpfer als Zulieferung für Kat-Einbau	1	307 490 1601	MB
1.7	Oxikat	1	Integration in Schalldämpfer	Mangold

### 2 Arbeiten Kraftstoffanlage

- 2.1 Kraftstofftank entleeren (eventuell Reinigung)
- 2.2 O-Ring Kraftstoffsieb/Tankablaß einbauen
- 2.3 Kraftstofffilter mit Dichtring erneuern
- 2.4 Kraftstoffleitung Bereich Einspritzpumpe tauschen
- 2.5 Handpumpe tauschen
- 2.6 Leckölleitungen tauschen
- 2.7 Tank mit Biodiesel befüllen
- 2.8 Kraftstoffanlage entlüften

### 3 Arbeiten Auspuffanlage

- 3.1 Endrohr ausbauen
- 3.2 Schalldämpfer ausbauen
- 3.3 Schalldämpfer mit Oxikat einbauen
- 3.4 Auspuffendrohr einbauen
- 3.5 Auspuffendrohrblende festschrauben

### 4 Prüfungen

- 4.1 Kraftstoffanlage auf Dichtheit prüfen
- 4.2 Abgasanlage auf Dichtheit prüfen

### 5 Eintragungen

- 5.1 Eintragung Oxikat in Fahrzeugpapiere

## Umrüstung auf BIODIESEL-Betrieb (Angaben pro Bus)

Mercedes-Benz O 405 G / Motoren OM 447 EURO 0 Saug

### 3 Busse SWN

Kraftstoffqualität: Pflanzenöl-Methylester nach DIN E 51606

1	Teile	Menge	Teile-Nr. RME-Ausführung	Lieferer
1.1	O-Ring Kraftstoffsieb/Tankablaß 34x3 Viton	1	002 997 72 45 DBL 5563.13	MB
1.2	Kraftstofffiltereinsatz Dichtring	1 1	422 090 00 51 000 447 31 60	MB
1.3	Kraftstoffleitung im Bereich Einspritzp.	4	357 997 37 82	MB
1.4	Leckölleitung	2 m	A 427 997 09 82	MB
1.5	Handpumpe	1	MB 000 091 21 90 (Bosch 244 701 0045-410)	MB
1.6	Oxikat	1	3574902601 ( HJS 94 62 0002)	MB
1.7	Auspuffendrohr ohne Nachschalldämpfer (nur wenn SA 0229 71 eingebaut ist)	1	357 492 26 04	MB

### 2 Arbeiten Kraftoffanlage

- 2.1 Kraftstofftank entleeren (eventuell Reinigung)
- 2.2 O-Ring Kraftstoffsieb/Tankablaß einbauen
- 2.3 Kraftstofffilter mit Dichtring erneuern
- 2.4 Kraftstoffleitung Bereich Einspritzpumpe tauschen
- 2.5 Handpumpe tauschen
- 2.6 Leckölleitungen tauschen
- 2.7 Tank mit Biodiesel befüllen
- 2.8 Kraftstoffanlage entlüften

### 3 Arbeiten Auspuffanlage

- 3.1 Endrohr ausbauen
- 3.2 Schalldämpfer ausbauen
- 3.3 Schalldämpfer mit Oxikat einbauen
- 3.4 Auspuffendrohr einbauen (ohne Nachschalldämpfer)
- 3.5 Auspuffendrohrblende festschrauben

### 4 Prüfungen

- 4.1 Kraftstoffanlage auf Dichtheit prüfen
- 4.2 Abgasanlage auf Dichtheit prüfen

### 5 Eintragungen

- 5.1 Eintragung Oxikat in Fahrzeugpapiere

## Umrüstung auf BIODIESEL-Betrieb (Angaben pro Bus)

Mercedes-Benz O 405 N2 / Motoren OM 447 EURO II Turbo
---

### 3 Busse VRW

Kraftstoffqualität: Pflanzenöl-Methylester nach DIN E 51606

1	Teile	Menge	Teile-Nr. RME-Ausführung	Lieferer
1.1	O-Ring Kraftstoffsieb/Tankablaß 34x3 Viton	1	002 997 72 45 DBL 5563.13	MB
1.2	Kraftstofffiltereinsatz Dichtring	1 1	422 090 00 51 000 447 31 60	MB
1.3	Kraftstoffleitung im Bereich Einspritzp.	4	357 997 37 82	MB
1.4	Leckölleitung	2 m	A 427 997 09 82	MB
1.5	Handpumpe	1	MB 000 091 21 90 (Bosch 244 701 0045-410)	MB
1.6	EHAB (Biodiesel-Ausführung KWH)	1		MB
1.7	Oxikat	1	A 357 490 2501 ( HJS 9462 0002)	MB
1.8	Auspuffendrohr ohne Nachschalldämpfer (nur wenn SA 0229 71 eingebaut ist)	1	357 492 26 04	MB
1.9	Umrüstung Standheizung	1	Nachrüstsatz	Webasto

### 2 Arbeiten Kraftstoffanlage

- 2.1 Kraftstofftank entleeren (eventuell Reinigung)
- 2.2 O-Ring Kraftstoffsieb/Tankablaß einbauen
- 2.3 Kraftstofffilter mit Dichtring erneuern
- 2.4 Kraftstoffleitung Bereich Einspritzpumpe tauschen
- 2.5 Handpumpe tauschen
- 2.6 EHAB tauschen
- 2.7 Leckölleitungen tauschen
- 2.8 Tank mit Biodiesel befüllen
- 2.9 Kraftstoffanlage entlüften

### 3 Arbeiten Auspuffanlage

- 3.1 Endrohr ausbauen
- 3.2 Schalldämpfer ausbauen
- 3.3 Nachschalldämpfer durch Zwischenrohr ersetzen
- 3.4 Schalldämpfer mit Oxikat einbauen
- 3.5 Auspuffendrohr einbauen (ohne Nachschalldämpfer)

### 4 Umbau Standheizung

Umrüstsatz Webasto einbauen

### 5 Prüfungen

- 5.1 Kraftstoffanlage auf Dichtheit prüfen
- 5.2 Abgasanlage auf Dichtheit prüfen

### 6 Eintragungen

- 6.1 Eintragung Oxikat in Fahrzeugpapiere

## Umrüstung auf BIODIESEL-Betrieb (Angaben pro Bus)

Mercedes-Benz O 408 / Motoren OM 447

### 1 Bus VRW

Kraftstoffqualität: Pflanzenöl-Methylester nach DIN E 51606

1	Teile	Menge	Teile-Nr.	Lieferer
1.1	O-Ring Kraftstoffsieb/Tankablaß 34x3 Viton	1	002 997 72 45 DBL 5563.13	MB
1.2	Kraftstoffiltereinsatz Dichtring	1	422 090 00 51 000 447 31 60	MB
1.3	Kraftstoffleitung im Bereich Einspritzp.	4	357 997 37 82	MB
1.4	Leckölleitung	2 m	A 427 997 09 82	MB
1.5	Handpumpe	1	MB 000 091 21 90 (Bosch 244 701 0045-410)	MB
1.6	Oxikat	1	A 357 490 2601 ( HJS 9462 0002)	MB
1.7	Auspuffendrohr ohne Nachschalldämpfer (nur wenn SA 0229 71 eingebaut ist)	1	357 492 26 04	MB
1.89	Umrüstung Standheizung	1	Nachrüstsatz	Webasto

### 2 Arbeiten Kraftoffanlage

- 2.1 Kraftstofftank entleeren (eventuell Reinigung)
- 2.2 O-Ring Kraftstoffsieb/Tankablaß einbauen
- 2.3 Kraftstoffilter mit Dichtring erneuern
- 2.4 Kraftstoffleitung Bereich EP tauschen
- 2.5 Handpumpe tauschen
- 2.6 Leckölleitungen tauschen
- 2.7 Tank mit Biodiesel befüllen
- 2.8 Kraftstoffanlage entlüften

### 3 Arbeiten Auspuffanlage

- 3.1 Endrohr ausbauen
- 3.2 Schalldämpfer ausbauen
- 3.3 Nachschalldämpfer durch Zwischenrohr ersetzen
- 3.4 Schalldämpfer mit Oxikat einbauen
- 3.5 Auspuffendrohr einbauen (ohne Nachschalldämpfer)

### 4 Umbau Standheizung

Umrüstsatz Webasto einbauen

### 5 Prüfungen

- 5.1 Kraftstoffanlage auf Dichtheit prüfen
- 5.2 Abgasanlage auf Dichtheit prüfen

### 6 Eintragungen

- 6.1 Eintragung Oxikat in Fahrzeugpapiere



## Umrüstung auf BIODIESEL-Betrieb (Angaben pro Bus)

MAN NG 272 / Motoren D 0826 LUH 01 EURO I Turbo

### 3 Busse SWN

Kraftstoffqualität: Pflanzenöl-Methylester nach DIN E 51606

1	Teile	Menge	Teile-Nr. RME-Ausführung	Lieferer
1.1	Kraftstoff-Vorfilter	1	51.12501-7156	MAN
1.2	Kraftstofffilterpatrone	2	51.12503-0031	MAN
1.3	Kraftstoffleitungen Bereich Einspritzp.	4	06.54029.0037	MAN
1.4	Kraftstoffleitung Verbindung Tanks	0.3m	04.27505.1030	MAN
1.5	Entlüftungsleitung Tanks	2m	04.27505.1023	MAN
1.6	Verbindungsschlauch Tanks	0.5		MAN
1.7	Tankgeberdichtung	1	81.12901.0048	MAN
1.8	Handpumpe	1	51.12150-7014	MAN
1.9	Schalldämpfer als Zulieferung für Kat-Einbau	1	81.15101.0250	MAN
1.1	Oxikat	1	Integration in Schalldämpfer	Mangold

### 2 Arbeiten Kraftoffanlage

- 2.1 Kraftstofftank entleeren (eventuell Reinigung)
- 2.2 Tank ausbauen
- 2.3 Entlüftung und Verbindung zu 2.Tank tauschen
- 2.4 Tank einbauen
- 2.5 Kraftstofffilter mit Heizung einbauen
- 2.6 Kraftstoff-Vorfilter einbauen
- 2.7 Kraftstofffilterpatrone einbauen
- 2.8 Kraftstoffleitung Bereich Einspritzpumpe tauschen ?
- 2.9 Handpumpe tauschen
- 2.10 Tank mit Biodiesel befüllen
- 2.11 Kraftstoffanlage entlüften

### 3 Arbeiten Auspuffanlage

- 3.1 Endrohr ausbauen (Nachschalldämpfer, Auspuffblende?)
- 3.2 Schalldämpfer ausbauen
- 3.3 Schalldämpfer mit Oxikat einbauen
- 3.4 Auspuffendrohr einbauen
- 3.5 Auspuffendrohrblende festschrauben ?

### 4 Prüfungen

- 4.1 Kraftstoffanlage auf Dichtheit prüfen
- 4.2 Abgasanlage auf Dichtheit prüfen

### 5 Eintragungen

- 5.1 Eintragung Oxikat in Fahrzeugpapiere

## Umrüstung auf BIODIESEL-Betrieb (Angaben pro Bus)

MAN NG 312 / Motoren D 2865 LUH 07 EURO I Turbo

### 2 Busse SWN

Kraftstoffqualität: Pflanzenöl-Methylester nach DIN E 51606

1	Teile	Menge	Teile-Nr. RME-Ausführung	Lieferer
1.1	Kraftstoff-Vorfilter	1	51.12501-7156	MAN
1.2	Kraftstofffilterpatrone	2	51.12503-0031	MAN
1.3	Kraftstoffleitung Bereich Einspritzp.	2	06.54029.0038	MAN
1.4	Kraftstoffleitung Verbindung Tanks	0.3m	04.27505.1030	MAN
1.5	Entlüftungsleitung Tanks	2m	04.27505.1023	MAN
1.6	Verbindungsleitung Tanks	0.5		MAN
1.7	Tankgeberdichtung	1	81.12901.0048	MAN
1.8	Handpumpe	1	51.12150-7014	MAN
1.9	Kraftstoffförderpumpe	1	51.12101-7101	MAN
1.10	Schalldämpfer als Zulieferung für Kat-Einbau	1	81.15101.0274	MAN
1.11	Oxikat	1	Integration in Schalldämpfer	Mangold

### 2 Arbeiten Kraftoffanlage

- 2.1 Kraftstofftank entleeren (eventuell Reinigung)
- 2.2 Tank ausbauen
- 2.3 Entlüftung und Verbindung zu 2.Tank tauschen
- 2.4 Tank einbauen
- 2.4 Kraftstofffilter mit Heizung einbauen
- 2.5 Kraftstoff-Vorfilter einbauen
- 2.6 Kraftstofffilterpatrone einbauen
- 2.7 Kraftstoffleitung Bereich EP tauschen ?
- 2.8 Handpumpe tauschen
- 2.9 Kraftstoffförderpumpe tauschen
- 2.10 Tank mit Biodiesel befüllen
- 2.11 Kraftstoffanlage entlüften

### 3 Arbeiten Auspuffanlage

- 3.1 Endrohr ausbauen (Nachschalldämpfer, Auspuffblende?)
- 3.2 Schalldämpfer ausbauen
- 3.3 Schalldämpfer mit Oxikat einbauen
- 3.4 Auspuffendrohr einbauen
- 3.5 Auspuffendrohrblende festschrauben ?

### 4 Prüfungen

- 4.1 Kraftstoffanlage auf Dichtheit prüfen
- 4.2 Abgasanlage auf Dichtheit prüfen

### 5 Eintragungen

- 5.1 Eintragung Oxikat in Fahrzeugpapiere



## Umrüstung auf BIODIESEL-Betrieb (Angaben pro Bus)

Mercedes-Benz O 305 / Motoren OM 407

### 1 Bus VRW

Kraftstoffqualität: Pflanzenöl-Methylester nach DIN E 51606

1	Teile	Menge	Teile-Nr. RME-Ausführung	Lieferer
1.1	O-Ring Kraftstoffsieb/Tankablaß 34x3 Viton	1	002 997 72 45 DBL 5563.13	MB
1.2	Kraftstofffiltereinsatz 0.5l mit Dichtring	2	MB 352 470 0092	MB
1.3	Kraftstoffleitung im Bereich Einspritzp.	4	MB 357 997 3782	MB
1.4	Leckölleitung	2 m	A 427 997 09 82	MB
1.5	Handpumpe	1	MB 000 090 88 50 ( KWH 000 091 21 90) (Bosch 244 701 0045-410)	MB
1.6	Schalldämpfer als Zulieferung für Kat-Einbau	1	307 490 1601	MB
1.7	Oxikat	1	Integration in Schalldämpfer	Mangold
1.8	Umrüstung Standheizung	1	Umrüstsatz	Webasto

### 2 Arbeiten Kraftoffanlage

- 2.1 Kraftstofftank entleeren (eventuell Reinigung)
- 2.2 O-Ring Kraftstoffsieb/Tankablaß einbauen
- 2.3 Kraftstofffilter mit Dichtring erneuern
- 2.4 Kraftstoffleitung Bereich Einspritzpumpe tauschen
- 2.5 Handpumpe tauschen
- 2.6 Leckölleitungen tauschen
- 2.7 Tank mit Biodiesel befüllen
- 2.8 Kraftstoffanlage entlüften

### 3 Arbeiten Auspuffanlage

- 3.1 Endrohr ausbauen
- 3.2 Schalldämpfer ausbauen
- 3.3 Schalldämpfer mit Oxikat einbauen
- 3.4 Auspuffendrohr einbauen
- 3.5 Auspuffendrohrblende festschrauben

### 4 Umbau Standheizung

Umrüstsatz Webasto einbauen

### 5 Prüfungen

- 5.1 Kraftstoffanlage auf Dichtheit prüfen
- 5.2 Abgasanlage auf Dichtheit prüfen

## Umrüstung auf BIODIESEL-Betrieb (Angaben pro Bus)

Mercedes-Benz O 405 NÜ / Motoren OM 447 EURO II Turbo

### 5 Busse VRW

Kraftstoffqualität: Pflanzenöl-Methylester nach DIN E 51606

1	Teile	Menge	Teile-Nr. RME-Ausführung	Lieferer
1.1	O-Ring Kraftstoffsieb/Tankablaß 34x3 Viton	1	002 997 72 45 DBL 5563.13	MB
1.2	Kraftstofffiltereinsatz Dichtring	1 1	422 090 00 51 000 447 31 60	MB
1.3	Kraftstoffleitung im Bereich Einspritzp.	4	357 997 37 82	MB
1.4	Leckölleitung	2 m	A 427 997 09 82	MB
1.5	Handpumpe	1	MB 000 091 21 90 (Bosch 244 701 0045-410)	MB
1.6	EHAB (Biodiesel-Ausführung KWH)	1		MB
1.7	Oxikat	1	A 357 490 2501 ( HJS 9462 0002)	MB
1.8	Auspuffendrohr ohne Nachschalldämpfer (nur wenn SA 0229 71 eingebaut ist)	1	357 492 26 04	MB
1.9	Umrüstung Standheizung	1	Nachrüstatz	Webasto

### 2 Arbeiten Kraftoffanlage

- 2.1 Kraftstofftank entleeren (eventuell Reinigung)
- 2.2 O-Ring Kraftstoffsieb/Tankablaß einbauen
- 2.3 Kraftstofffilter mit Dichtring erneuern
- 2.4 Kraftstoffleitung Bereich Einspritzpumpe tauschen
- 2.5 Handpumpe tauschen
- 2.6 EHAB tauschen
- 2.7 Leckölleitungen tauschen
- 2.8 Tank mit Biodiesel befüllen
- 2.9 Kraftstoffanlage entlüften

### 3 Arbeiten Auspuffanlage

- 3.1 Endrohr ausbauen
- 3.2 Schalldämpfer ausbauen
- 3.3 Nachschalldämpfer durch Zwischenrohr ersetzen
- 3.4 Schalldämpfer mit Oxikat einbauen
- 3.5 Auspuffendrohr einbauen (ohne Nachschalldämpfer)

### 4 Umbau Standheizung

Umrüstatz Webasto einbauen

### 5 Prüfungen

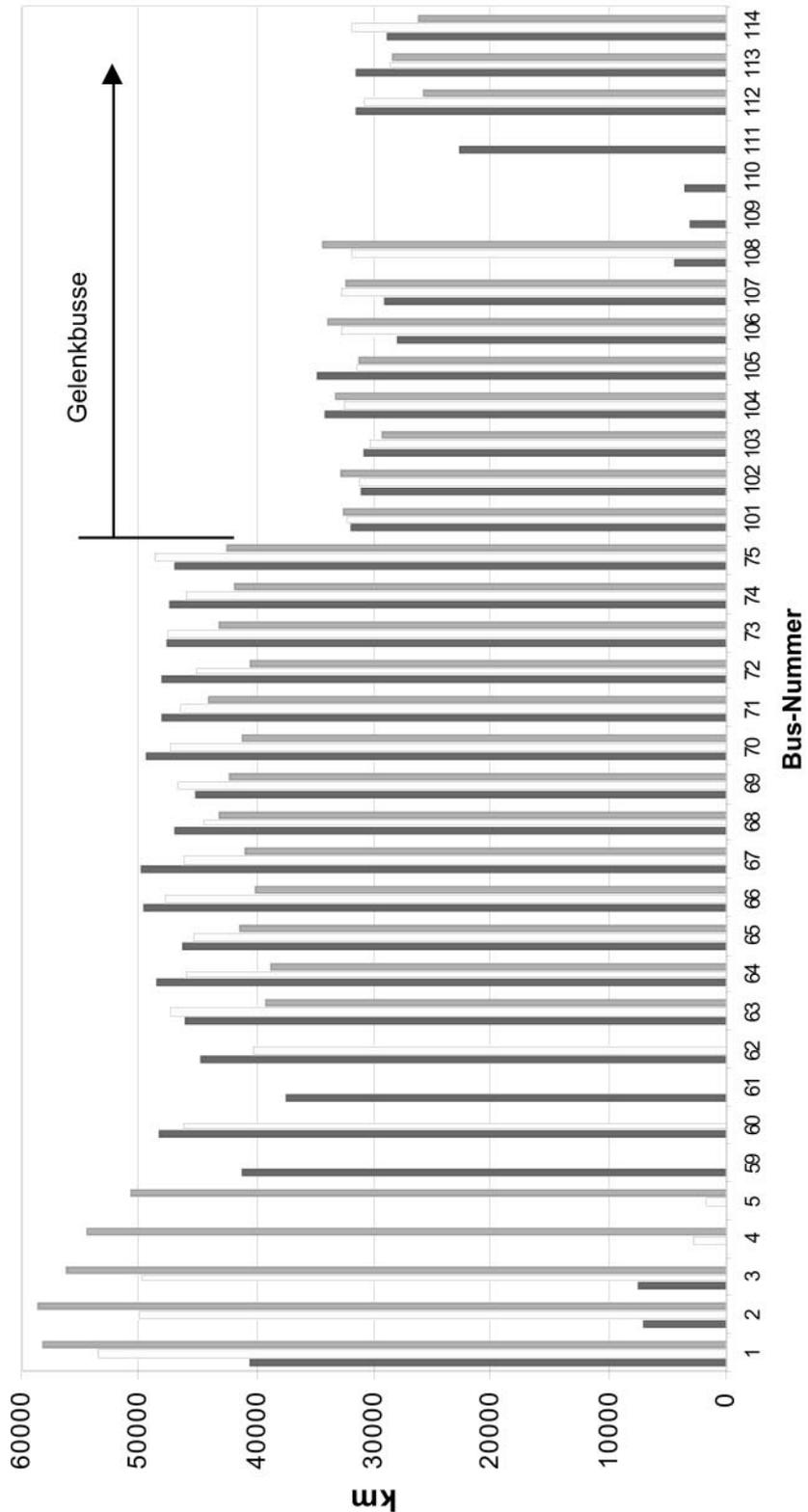
- 5.1 Kraftstoffanlage auf Dichtheit prüfen
- 5.2 Abgasanlage auf Dichtheit prüfen

### 6 Eintragungen

- 6.1 Eintragung Oxikat in Fahrzeugpapiere



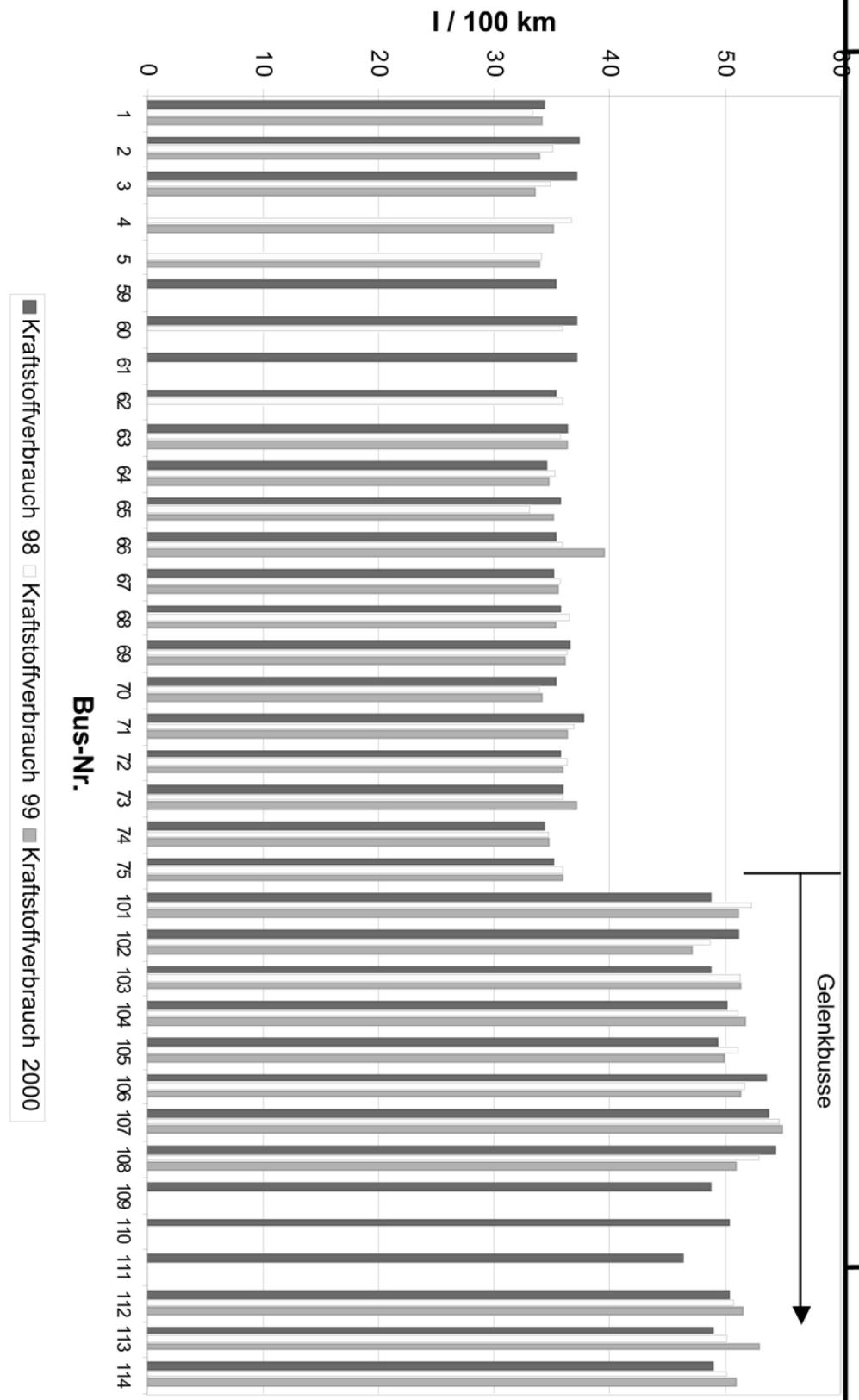
BIODIESEL Stadtwerke Neuwied GmbH  
Jahresfahrleistungen 1998, 1999 und 2000



■ Jahresfahrleistung 98 □ Jahresfahrleistung 2000



**BIODIESEL Stadtwerke Neuwied GmbH**  
Kraftstoffverbräuche, durchschnittlich

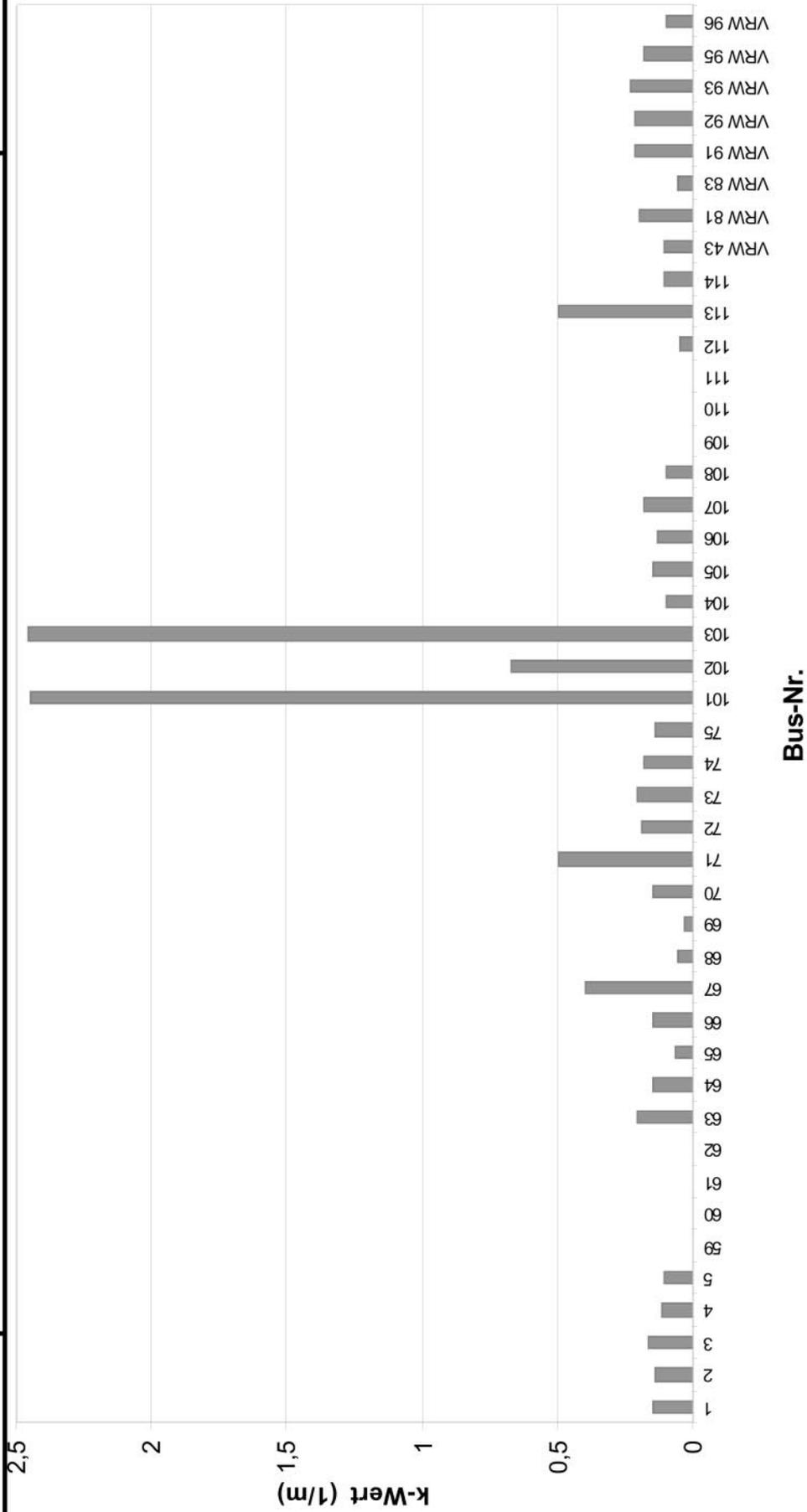


■ Kraftstoffverbrauch 98 □ Kraftstoffverbrauch 99 ■ Kraftstoffverbrauch 2000

**Bus-Nr.**

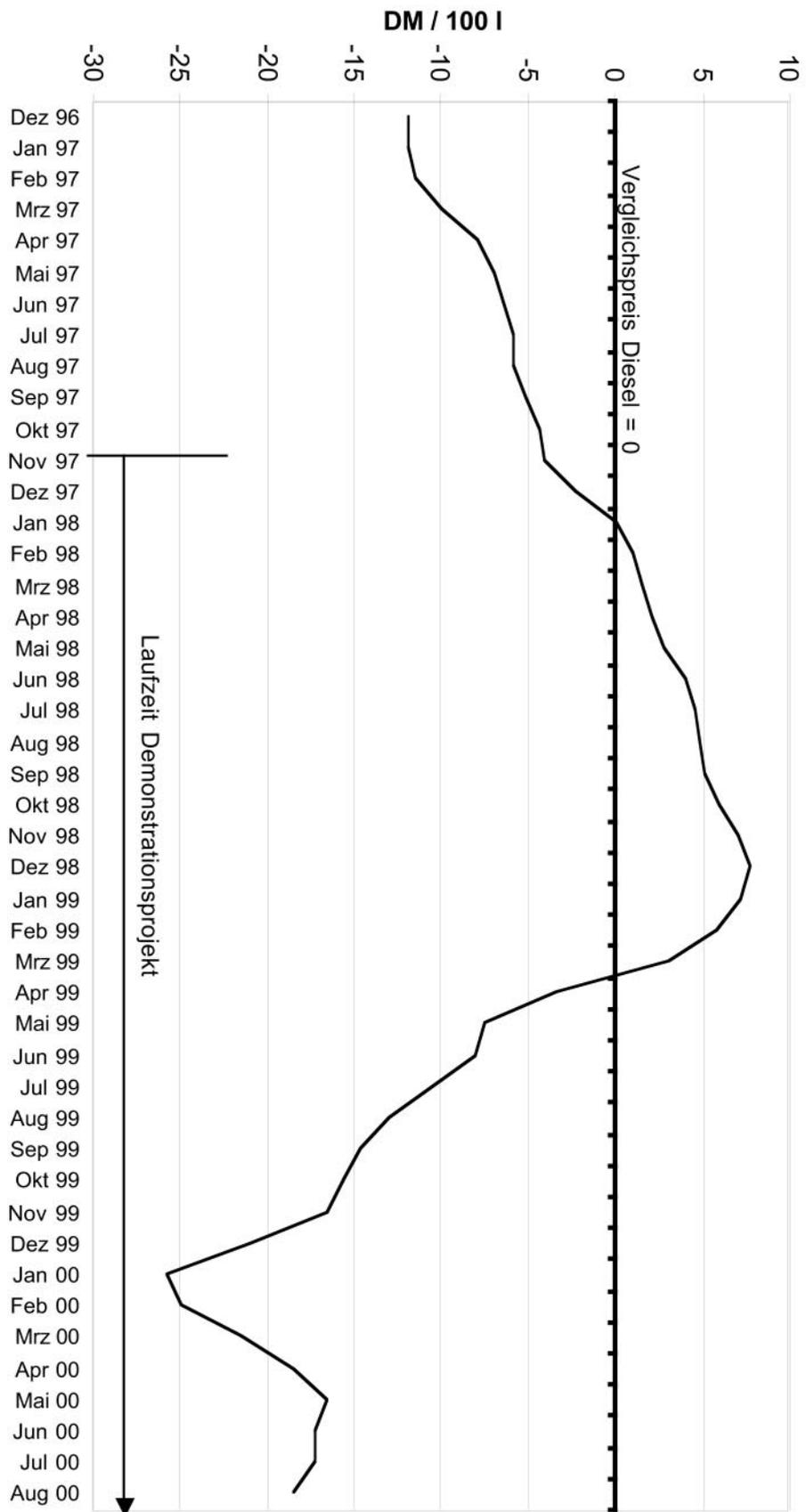
Gelenkbusse

BIODIESEL Stadtwerke Neuwied GmbH  
 Abgasuntersuchung (AU) mit BIODIESEL / Abgastrübung



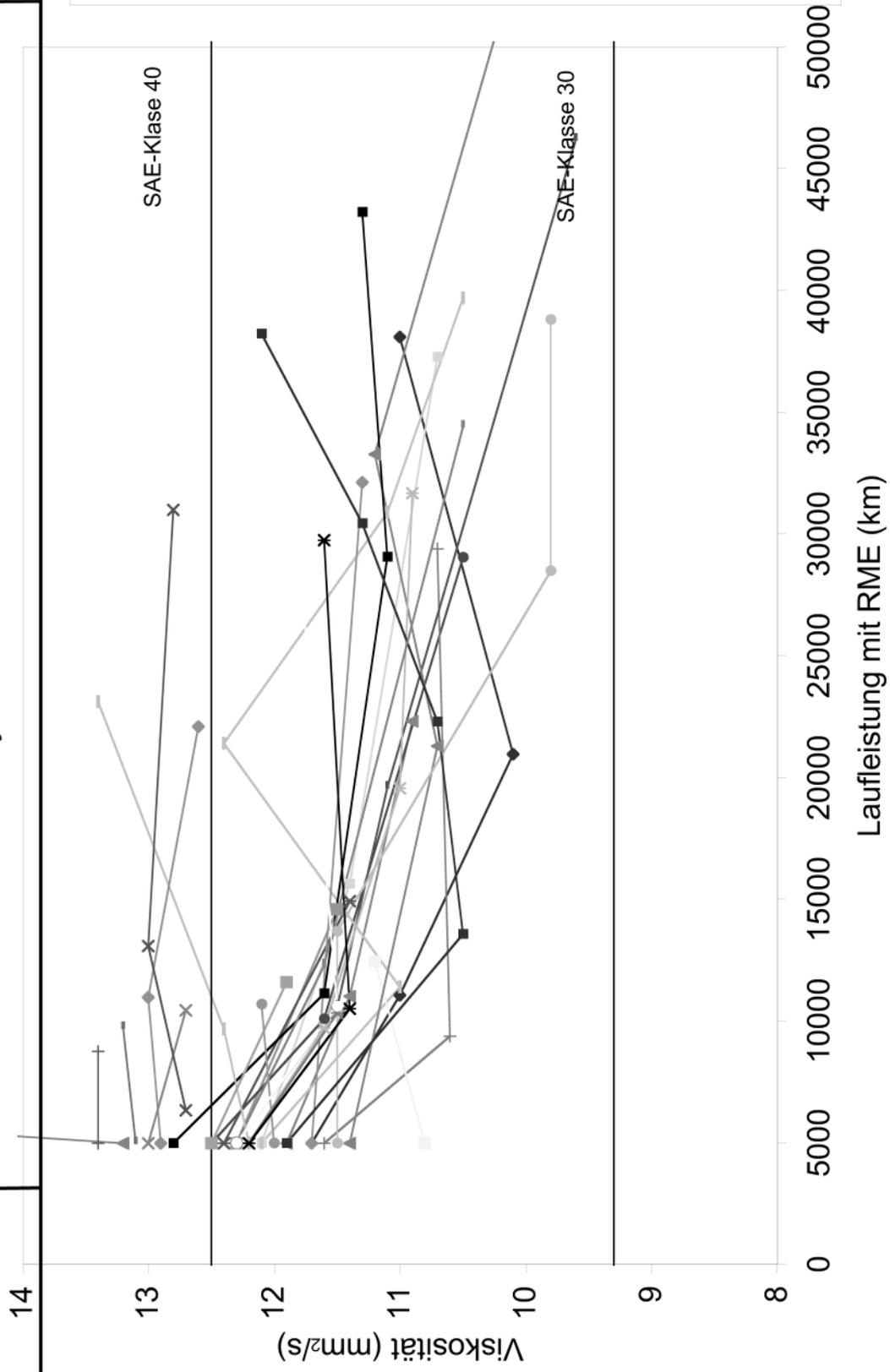


BIODIESEL Stadtwerke Neuwied GmbH  
Preisabstand BIODIESEL zu Diesel, Umfragewerte Großabnehmer





BIODIESEL Stadtwerke Neuwied GmbH  
 Motorölanalysen / Viskosität SWN-Busse

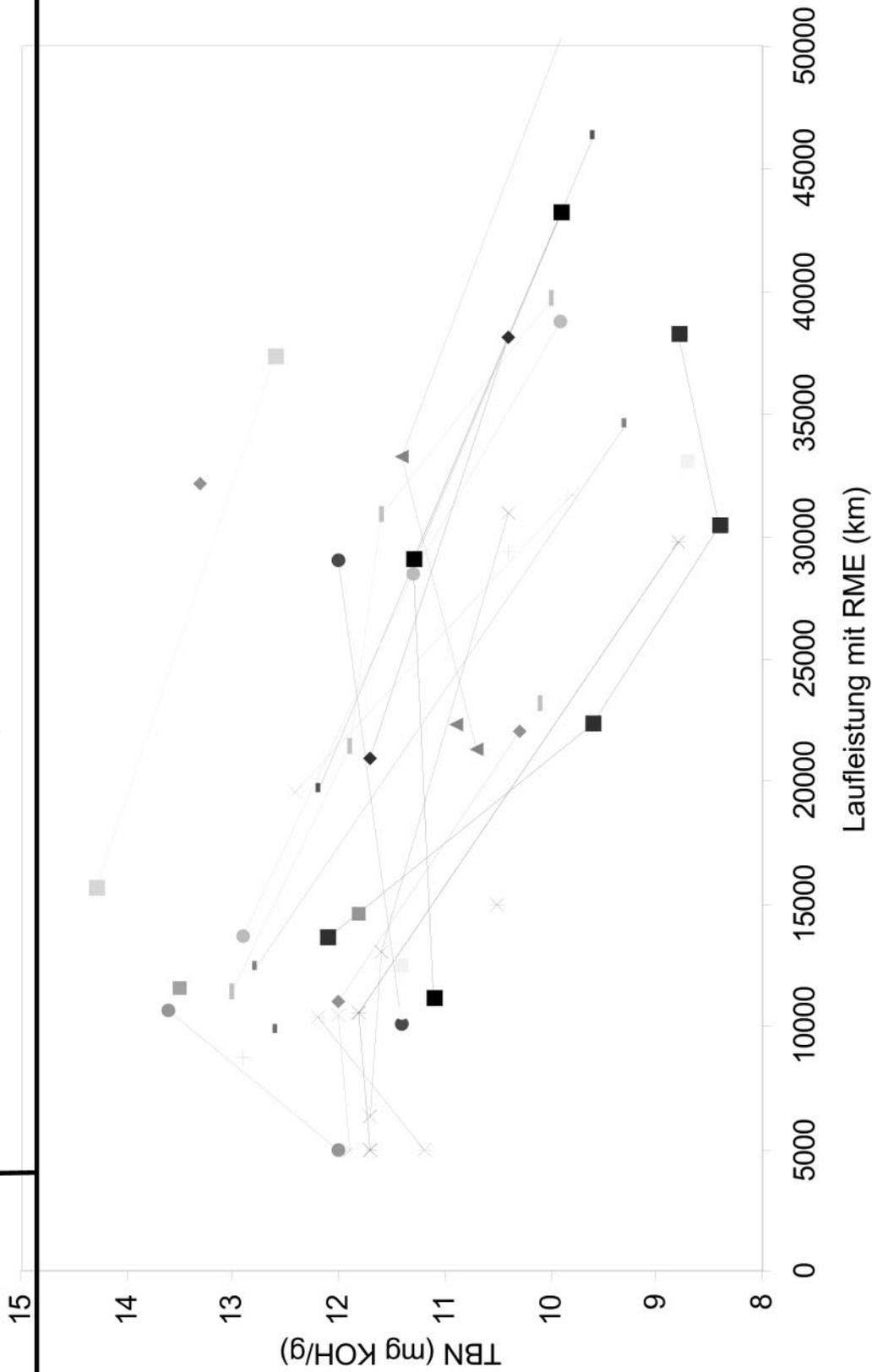


- NR-A 8059
- NR-A 8260
- NR-A 8161
- NR-A 8062
- NR-A 8163
- NR-A 8064
- NR-A 8065
- NR-A 8166
- NR-A 8267
- NR-A 8068
- NR-A 8069
- NR-A 8070
- NR-A 8071
- NR-A 8172
- NR-A 8073
- NR-A 8174
- NR-A 8175
- NR-A 9111
- NR-C 112
- NR-A 2113
- NR-A 5114
- NR-C 101
- NR-A 8104
- NR-A 8105
- NR-E 9103
- NR-U 102
- NR-A 9601
- NR-D 8106
- NR-D 2107



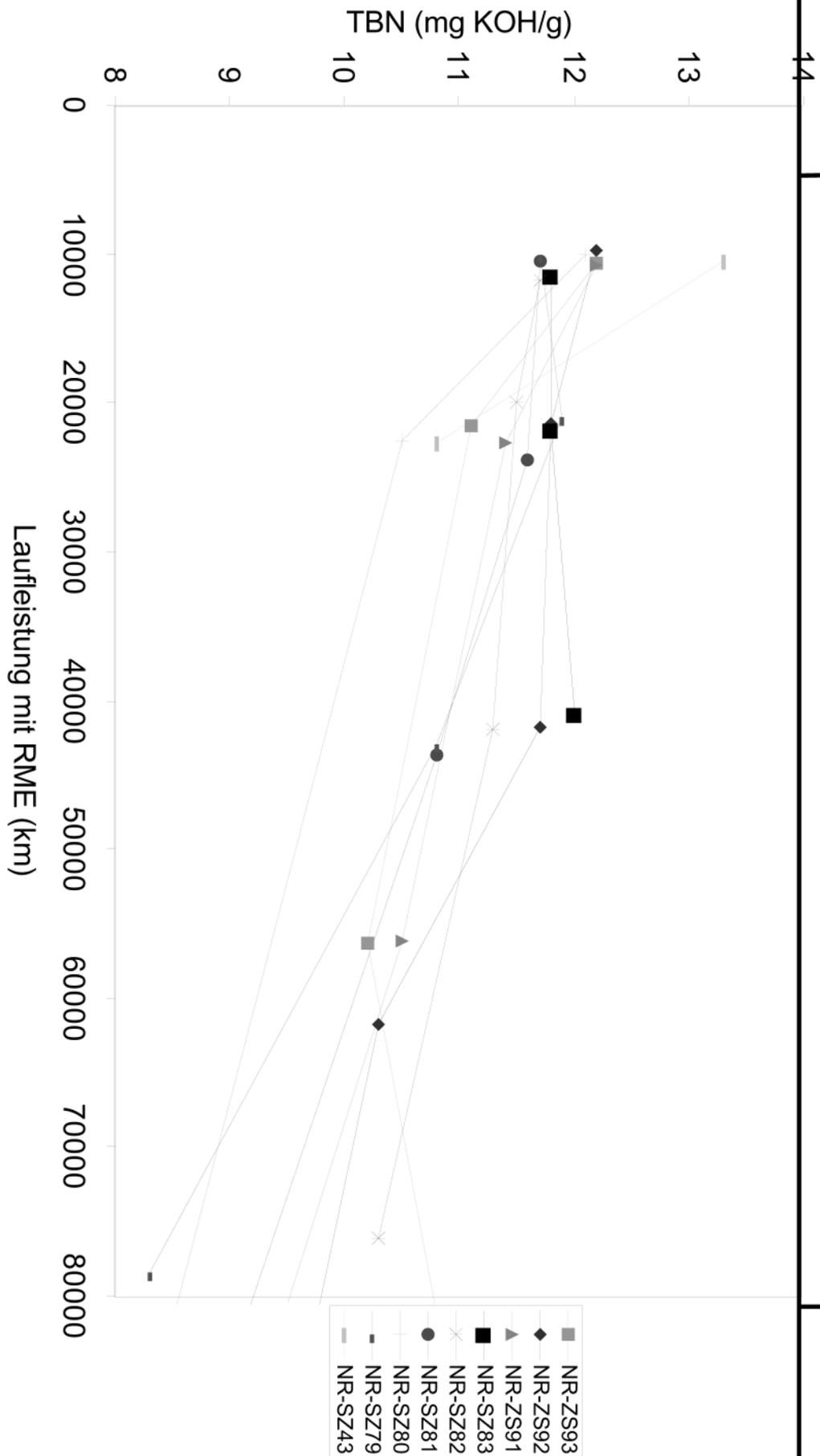


BIODIESEL Stadtwerke Neuwied GmbH  
Motorölanalysen / TBN-Werte SWN-Busse



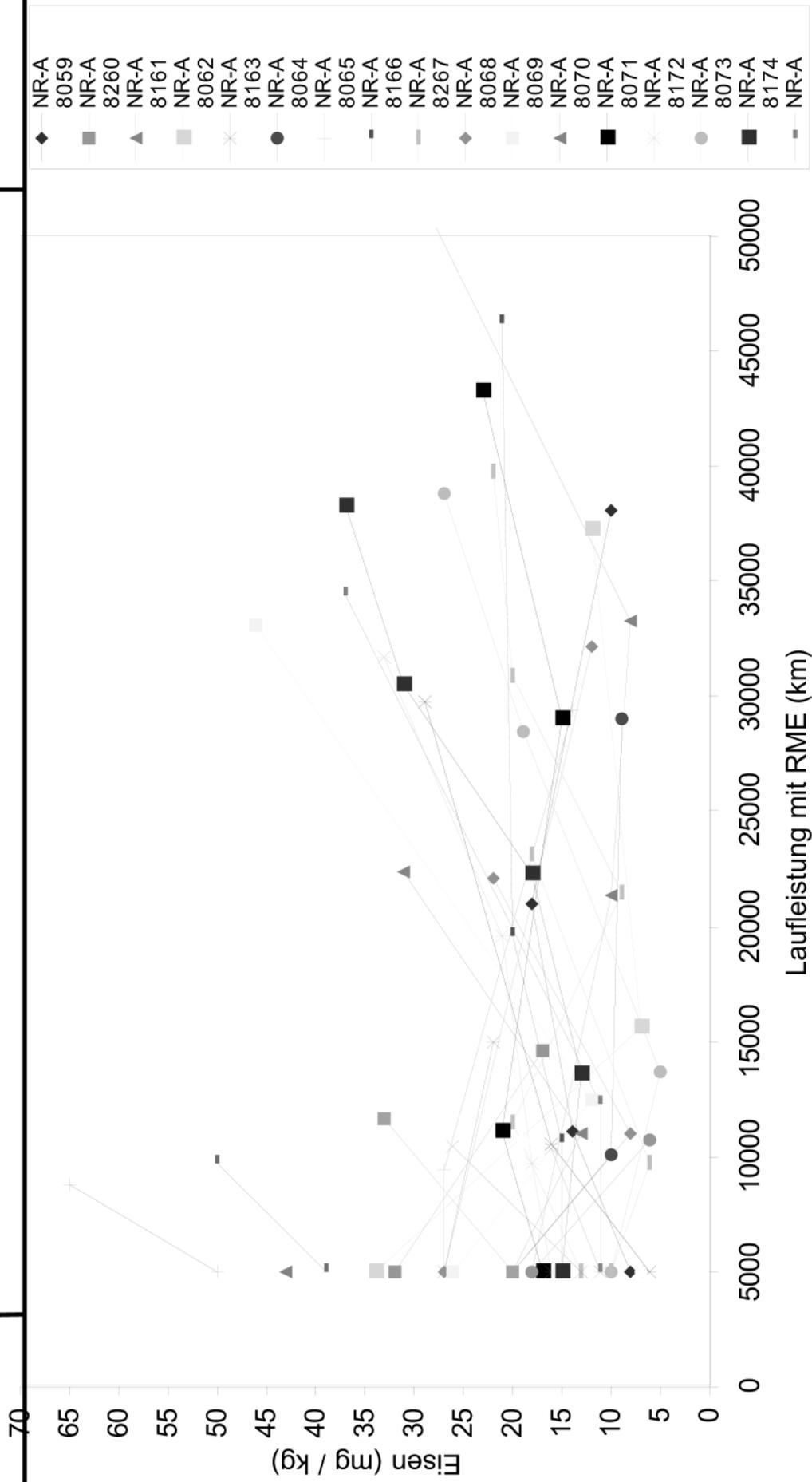


BIODIESEL Stadtwerke Neuwied GmbH  
Motorölanalysen / TBN-Wert VRW-Busse



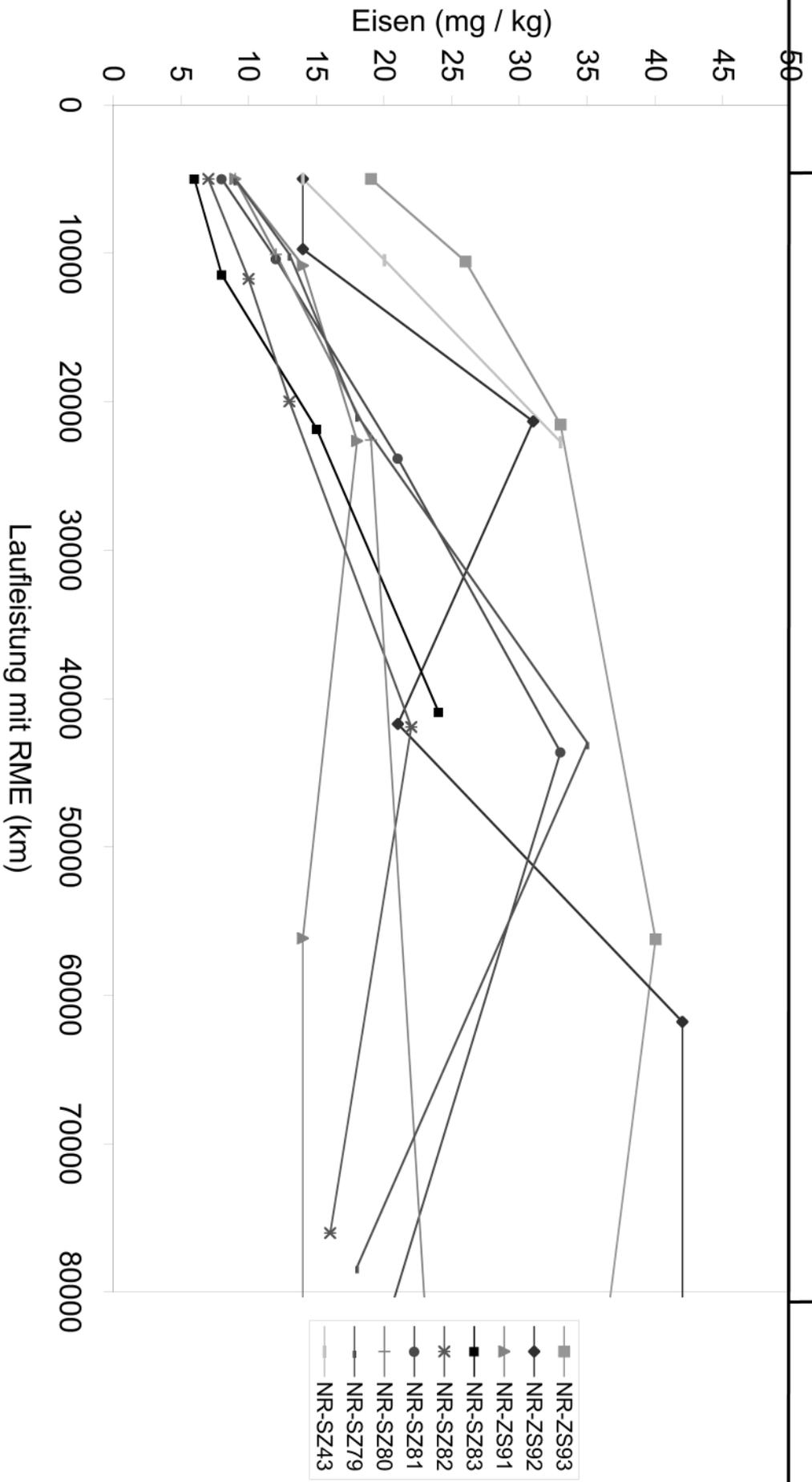


# BIODIESEL Stadtwerke Neuwied GmbH Motorölanalysen / Eisen SWN-Busse





BIODIESEL Stadtwerke Neuwied GmbH  
Motorölanalysen / Eisen VRW-Busse





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

Godesberger Allee 142-148 • 53175 Bonn • [www.ufop.de](http://www.ufop.de)